

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2010

Bc. Marek Sliachan

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky**

**Návrh a realizace projektu lakovny KOVO SIPOX
a.s.
Design and Realisation of Control System for
Automatic Paint Shop**

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Marek Sličan

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2601T004 Měřicí a řídicí technika

Téma:

Návrh a realizace projektu lakovny KOVO SIPOX a,s.
Design and Realisation of Control System for Automatic Paint Shop

Zásady pro vypracování:

1. Popis zařízení lakovací linky a funkční analýza technologického procesu.
2. Návrh řídicího systému lakovací linky včetně návrhu řízení pohonů.
3. Implementace a testování řídicí aplikace.
4. Návrh, implementace a testování vizualizačního systému lakovací linky.
5. Uvedení zařízení do provozu.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. KOZIOREK, Jiří - CHROMČÁK, Libor. Logické systémy řízení. Učební text, příklady pro cvičení. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1490-2.
2. POLKA, D. Motors & Drives. ISA 2003, USA, ISBN 1-55617-800-X.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2008

Datum odevzdání: 07.05.2010



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne
pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Bc. Marek Sliachan

Dátum odovzdania diplomovej práce: 7.5 2010

PodĎakovanie

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce pánovi doc. Jiřímu Koziorekovi, Ph.D za cenné rady,
konzultácie a pripomienky spojené s vypracovaním mojej diplomovej práce.

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá návrhom a realizáciou aplikácie lakovacej linky vo firme Kovo Sipox a.s. pomocou programovateľného logického automatu Omron. K riadeniu sú použité tri kompaktné automaty firmy Omron rady CP1H a CP1L s rozširujúcimi vstupno-výstupnými jednotkami CP1W. Automaty sú navzájom prepojené prostredníctvom sériovej zbernice RS485 a sériového komunikačného protokolu Omron serial PLC link. Vizualizácia lakovacej linky je riešená prostredníctvom troch dotykových vizualizačných terminálov Omron NS5. Striedavé asynchrónne motory na riadenie pohybu jednotlivých osí lakovacej linky od firmy Lenze sú riadené skalárnymi frekvenčnými meničmi J7 od firmy Omron. Všetky elektrické zariadenia, snímače, motory a rozvodné krabice, ktoré sú použité v lakovacej linke spĺňajú krytie Ex II3G Eex de IIA T2 IP54. Tento certifikát umožňuje použitie elektrických zariadení v prostredí, kde sú použité horľavé kvapaliny. Riadiaci program je vytvorený vo vývojovom prostredí CX Programmer pomocou ladder diagramu. Vizualizačné terminály sú naprogramované vo vývojovom prostredí CX Designer.

Kľúčové slová

Programovateľný logický automat, vizualizácia, riadenie motorov, frekvenčný menič, programovacie metódy Omron.

Abstract

This graduation thesis deals with design and implementation of automatic paint shop application by a programmable logic controller Omron in a company Kovo Sipox. The control uses three compact controllers from the company Omron - class CP1H and CP1L with expanding input-output units CP1W. The controllers are interconnected via serial bus RS485 and serial communication protocol Omron serial PLC link. The visualization of paint shop is solved by three touch visualization terminals Omron NS5. Alternate asynchronous motors for controlling movement of each individual axis of the paint shop from a company Lenze are controlled by scalar frequency convertors J7 from the company Omron. All electrical equipments, sensors, motors and distribution boxes that are used in the paint shop meet the cover Ex II3G Eex de IIA T2 IP54. This certificate allows the use of electrical equipments in an environment where flammable liquids are used. The control program is created in a development environment CX Programmer by the ladder diagrams. The visualization terminals are created in a development environment CX Designer.

Key words

Programmable logic controllers, visualization, controls of motors, frequency convertor, method in programming Omron.

Zoznam použitých symbolov a skratiek

CPU	- (Central Processor Unit) Centrálna procesorová jednotka
PLC	- (Programmable logic controller) Programovateľný logický automat
I/O	- (Input/Output) Vstupy/výstupy
I/O	- vstupno-výstupné
RS	- Riadiaci systém
FM	- Frekvenčný menič
AD/DA	- (Analog digital/Digital analog) Analogovo digitálne/ Digitálne anologové
PV	- (Process value) Skutočná hodnota
SV	- (Set value) Žiadaná hodnota
PT	- (Programmable terminal) Programovateľný terminál
SFC	- (Sequential Function Chart) Sekvenčnej funkčná schéma
V/f	- (Voltage/frequency) Napätie/frekvencia
Ladder	- (Ladder Diagram) Grafický jazyk, založený na princípe líniových schém reléovej logiky
Ethernet	- Komunikačná sieť
Terminál	- ovládací dotykový displej
Pop-up	- prekrývacie okno vizualizačnej obrazovky
El.	- elektrický
Ex.	- (Explosive) Výbušné

Obsah

1	Úvod	1
2	Popis technológie a zariadenia lakovacej linky	2
2.1	Popis technologického procesu	2
2.1.1	Tekuté farby	3
2.1.2	Spotreba farby	3
2.2	Popis zariadení lakovacej linky	5
2.2.1	Vetranie lakovne	7
2.2.2	Vykurovanie lakovne	7
2.2.3	Požiarny systém lakovne	8
2.2.4	Požiarné dvere a únikové východy lakovne	8
2.2.5	Dopravníkový systém lakovne	8
2.2.6	Prívod vzduchu ku manipulátorom	8
2.2.7	Striekací manipulátor	9
2.2.8	Striekacie zariadenie manipulátora	9
2.2.9	Riadiaci systém	11
3	Návrh a realizácia riadiaceho systému lakovacej linky	12
3.1	Návrh riadiaceho systému	13
3.1.1	Riadiaci systém PLC Omron	15
3.1.2	Vizualizačný terminál Omron NS	20
3.1.3	Prepojenie riadiacich systémov	21
3.1.4	Prepojenie riadiaceho systému a vizualizačného terminálu	23
3.2	Návrh riadenia pohonov	24
3.2.1	Elektromotor	24
3.2.2	Frekvenčný menič Omron J7	26
3.2.3	Technické parametre pohonov manipulátora	29
3.3	Riadenie pohybu manipulátora	29
3.3.1	Riadenie pohybu manipulátora osi X	30
3.3.2	Riadenie pohybu nosníka osi Z	30
3.3.3	Riadenie pohybu striekacích pištolí	31
3.3.4	Výpočet aktuálnej polohy	31
3.3.5	Zoznam vstupno-výstupných signálov	33
3.4	Riadenie vetrania haly	35
3.4.1	Technické parametre pohonov	35
3.4.2	Zoznam vstupno-výstupných signálov	36
3.5	Riadenie vykurovania haly	37
4	Návrh a realizácia riadiacej aplikácie	38
4.1	Softvérové nástroje na programovanie	38
4.1.1	Programovací softvér pre PLC CX Programmer	38
4.1.2	Programová štruktúra PLC Omron	38
4.1.3	Adresácia dát	40
4.1.4	Systémové premenné	40
4.1.5	Konštanty	42
4.2	Štruktúra programu manipulátora	43
4.2.1	Sekcia hlavný	43
4.2.2	Sekcia inicializácia	43
4.2.3	Sekcia polohovanie	45
4.2.4	Sekcia riadenie	49
4.2.5	Sekcia počítanie polohy Y, X, Z a Z1	56
4.2.6	Sekcia ovládanie vzduchu	57

4.2.7	Sekcia ovládanie motorov	57
4.2.8	Sekcia prepočty	57
4.2.9	Sekcia komunikácia	57
4.3	Štruktúra programu ventilácie	58
4.3.1	Sekcia ovládanie svetla	58
4.3.2	Sekcia ovládanie ventilátorov	58
4.3.3	Sekcia komunikácia	58
5	Návrh a realizácia vizualizačnej aplikácie	59
5.1	Programovací softvér pre NS radu terminálov CX Designer	59
5.2	Štruktúra vizualizačnej aplikácie manipulátora	60
5.2.1	Popis vizualizačnej aplikácie manipulátora	62
5.2.2	Obrazovka loga firmy	62
5.2.3	Obrazovka základného menu	62
5.2.4	Obrazovky manuálneho ovládania	63
5.2.5	Obrazovky automatického ovládania	64
5.2.6	Obrazovka histórie porúch	66
5.3	Štruktúra vizualizačnej aplikácie ventilácie	67
5.3.1	Popis vizualizačnej aplikácie ventilácie	68
5.3.2	Obrazovka loga firmy	68
5.3.3	Obrazovka ovládania ventilátorov	68
5.3.4	Obrazovka požiarne brány	69
5.3.5	Obrazovka aktuálne poruchy	70
5.3.6	Obrazovka histórie alarmov	70
5.3.7	Obrazovka histórie udalostí	71
6	Uvedenie zariadenia do prevádzky	72
6.1	Manipulátor	72
6.1.1	Oživenie hardvéru manipulátora	72
6.1.2	Kontrola vstupno-výstupných signálov	76
6.1.3	Testovanie funkcie linky	77
6.2	Ventilácia	77
6.2.1	Oživenie hardvéru ventilácie	77
6.2.2	Kontrola vstupno-výstupných signálov	78
6.2.3	Testovanie funkcie ventilácie	78
7	Záver	79
	Použitá literatúra	80
	Prílohy	81

1 Úvod

Kovové materiály a z nich vyrobené predmety sú počas celej svojej životnosti vystavené pôsobeniu prostredia a funkčnému namáhaniu, pričom však požadujeme stálosť ich pôvodných vlastností a vzhľadu. Skrátenie životnosti a strata spoľahlivosti sú často zapríčinené znehodnotením povrchu materiálov najmä koróznymi účinkami a opotrebovaním. Za týmto účelom je potrebné *materiály povrchovo upravovať*, čím získame určité požadované vlastnosti a stav povrchu materiálu, ktorý je potrebné pre ich optimálnu dlhodobú funkciu.

K najrozšírenejším spôsobom povrchovej ochrany kovových materiálov patrí *aplikácia náterových hmôt*. Z hľadiska funkčnosti sú najpoužívanjšie nátery, ktoré vytvárajú po nanosení na oceľovom povrchu povlak s antikoróznym, ale aj estetickým účinkom. Farby a ďalšie produkty na povrchovú úpravu materiálov nachádzajú uplatnenie v širokom spektre priemyslových oborov. Najčastejšie sa jedná o automobilové dielce a doplnky, poľnohospodársku techniku, stavebné stroje a dopravné prostriedky. Uplatnenie nachádzajú všetky v súčasnosti používané farby a to rozpúšťadlové, vodou riediteľné alebo práškové.

Proces nanášania farieb ovplyvňuje množstvo technologických parametrov, ako aj samotná voľba technológie nanášania. Preto je potrebné detailne analyzovať už v predvýrobnej fáze charakter a rozsah požadovanej povrchovej úpravy náterovými hmotami.

Neoddeliteľnou súčasťou technológie nanášania je lakovacia linka. V súčasnosti sa neustále rozrastá využitie riadiacich systémov pri automatizácii lakovacích liniek. Je to spôsobené rastúcim tlakom na zvyšovanie produktivity, ekonomickej efektívnosti a bezpečnosti riadenia výrobných procesov.

Len vhodným výberom technológie lakovania a lakovacej linky je možné zabezpečiť návratnosť investícií, optimálnu produktivitu výroby a požadovanú kvalitu povrchových úprav.

Predkladaná diplomová práca rieši problém návrhu a realizácie riadiaceho systému lakovne vo firme Kovo Sipox a.s., v spolupráci s firmou Evotech ako dodávateľom celého projektu.

Text tejto diplomovej práce je rozdelený do ôsmich kapitol. Po úvode je v kap. 2 „Popis technológie a zariadenia lakovacej linky“ uvedený popis zariadenia lakovacej linky a funkčná analýza technologického procesu lakovania. Všetky zariadenia lakovacej linky sú prehľadne zobrazené na blokovej schéme výrobnéj a lakovacej haly.

V kap. 3 „Návrh a realizácia riadiaceho systému lakovacej linky“ sa venujem návrhu riadiaceho systému. Tento návrh obsahuje okrem použitých riadiacich systémov a vizualizačných terminálov aj návrh riadenia pohonov. Sú tam uvedené technické parametre navrhnutého hardvéru a vzájomné prepojenie riadiacich a vizualizačných systémov.

V kap. 4 „Návrh a realizácia riadiacej aplikácie“ rozoberám použitý softvérový nástroj na programovanie PLC Omron s označením CX Programmer. Následne sa venujem štruktúre a členeniu programu riadenia manipulátora a ventilácie. Postupne sú tam rozobraté všetky časti programovacieho kódu doplnené o vývojové diagramy procesu lakovania.

Diplomová práca pokračuje v kap. 5 „Návrh a realizácia vizualizačnej aplikácie“ popisom navrhutej vizualizačnej aplikácie. Na návrh vizualizačných obrazoviek bol použitý softverový nástroj od spoločnosti Omron s označením CX Designer. Z dôvodu rozsiahlosti vizualizačných aplikácie sú tam uvedené len základné obrazovky.

V kap. 6 „Uvedenie zariadenia do prevádzky“ je prebraný postup uvádzania zariadení do prevádzky. Tento postup obsahuje kontrolu zapojenie PLC, meničov a motorov.

2 Popis technológie a zariadenia lakovacej linky

Účelom výstavby novej lakovacej linky pre firmu Kovo Sipox a.s. bola výstavba novej haly lakovne a striekacej kabíny v ktorej bude prebiehať automatický proces nanášania farby na rozmerovo rozličné druhy kontajnerov. Firma Kovo Sipox a.s. sa od roku 1950 venuje spracovaniu ocele a plechu. Jedným z jej produktov sú aj rôzne vyhotovenia kontajnerov zobrazené na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Výrobky firmy Kovo Sipox

Doposiaľ lakovanie kontajnerov prebiehalo manuálnym spôsobom, pričom pracovníci lakovne zabezpečili odmastenie kontajnera technickým benzínom a následne jeho ručné nastriekanie tekutou farbou pomocou striekacích pištolí. V hale, v ktorej sa pracovalo však neboli zaistené optimálne podmienky pre kvalitný náter ako je konštantná teplota, kvalitné vetranie a bezpečnostné normy spojené s procesom nanášania náterových hmôt. Ďalším dôvodom bolo zefektívnenie procesu výroby a optimalizácia spotreby nanášaného náteru. Z tohto dôvodu sa rozhodlo s výstavbou novej automatickej lakovacej linky. Táto lakovacia linka mala obsahovať dva nezávislé koľajové systémy, na ktorých bude súčasne prebiehať proces lakovania a sušenia. Striekacia kabína mala mať zabezpečené kvalitné odvetrávanie a teplotnú reguláciu v procese nanášania a sušenia náterovej hmoty.

Komplexné riešenie spočívalo v systémovom návrhu lakovacej linky, na ktorom pracoval tím odborníkov z oblasti konštrukcie lakovacích liniek, povrchovej úpravy, ale i z oblasti vzduchotechniky, tlakového vzduchu a likvidácie odpadových materiálov. Celá linka mala byť ovládaná moderným systémom riadenia, ktorý kontroluje celý proces povrchovej úpravy.

2.1 Popis technologického procesu lakovacej linky

Proces nanášania farieb ovplyvňuje množstvo technologických parametrov, ako aj samotná voľba technológie nanášania. Preto sa v predvýrobnej fáze robí detailná analýza charakteru a rozsahu požadovanej úpravy náterovými hmotami. Táto analýza má zabezpečiť požadované vlastnosti povrchu nalakovaného materiálu medzi ktoré patrí: oderuvzdornosť, tvrdosť, žiaruvzdornosť, zmena elektrickej vodivosti, ale aj vzhľadové vlastnosti a najmä antikorozijskosť. Ochrana proti korózii patrí medzi najdôležitejšie úlohy povrchových úprav. Nesmieme však

zabudnúť ani na ďalšiu dôležitú funkciu povrchovej úpravy a to je estetická úprava výrobkov a jeho hygienické vlastnosti. Konečnou požiadavkou na daný materiál je ochrana proti vode, slnečnému žiareniu, korózii a mechanickému opotrebovaniu.

Vhodným výberom technológie lakovania a lakovacej linky je možné zabezpečiť už spomínané požiadavky s prihliadnutím na optimálnu produktivitu výroby, spotrebu náterových hmôt a požadovanú kvalitu povrchovej úpravy. Nezanedbateľným aspektom pri používaní syntetických farieb je aj ohľaduplnosť k životnému prostrediu a zabezpečenie optimálnych podmienok pri práci s horľavými látkami.

2.1.1 Tekuté farby

Tieto *organické povlaky* sú najrozšírenejším spôsobom povrchových úprav. Je to dané pomerne veľkým ochranným účinkom organických materiálov a súčasne aj jednoduchosťou a dostupnosťou metód, ktorými sa vytvárajú povlaky z týchto materiálov. Používajú sa na zhotovenie povlakov, ktoré chránia a zlepšujú vzhľad, ale môžu mať aj špecifické vlastnosti, napr. bakteriálne, svietiace, elektricky vodivé a podobne.

Nanášame ich v tenkej vrstve na povrch predmetu a vytvárame súvislý film. Hlavnými zložkami farieb sú filmotvorné látky, pigmenty, plnivá, rozpúšťadlá a riedidlá.

Filmotvornými látkami sú prevažne neprchavé organické látky, ktoré môžu vytvárať tuhý súvislý film rôznej hrúbky. Sú to vysychavé oleje, prírodné a syntetické živice, deriváty celulózy a kaučuku, asfaltu.

Pigmenty rozhodujú predovšetkým o farbe, krycej schopnosti, tvrdosti, pevnosti a konzistencii farby. Ovplyvňujú aj rýchlosť prenikania prostredia povlakom a jeho koróznou odolnosť.

Prchavé rozpúšťadlá a riedidlá umožňujú naniesť náterivo na chránený povrch v požadovanej konzistencii. Je potrebné, aby nezostávali na vytvorenom povlaku, lebo tým sa zhoršuje odolnosť náteru, najmä v kvapalnom agresívnom prostredí.

V európskom priemysle priemyslových farieb zaznamenávame silnú tendenciu odklonu od farieb riediteľných rozpúšťadlami k farbám na báze vody. Hlavným argumentom k prechodu na farby riediteľné vodou je šetrnosť k životnému prostrediu. Je však potrebné vziať k úvahe aj to, že existujú i také povrchy, ktoré v súčasnej dobe nie sú schopné prijať farbu na báze vody. Nie je taktiež jednoduché nájsť farby, ktoré by chránili životné prostredie a zároveň obsahovali organickú zložku (molekula uhlíka, kyslíka, síry alebo dusíka). Môžeme uviesť ako príklad potravinársky priemysel, kde sú povrchy z ocele alebo na báze cementu a je nutné ich ošetriť náterovými hmotami s vysokou odolnosťou proti oteru, vysokým teplotám, či akémukoľvek znehodnoteniu. V tomto prípade spĺňajú požiadavky len farby na báze rozpúšťadiel. Na druhej strane zasa farby na báze vody majú výhody ako jednoduchšia odbúrateľnosť a nižšia horľavosť. Neustále sa však pracuje na vývoji nových farieb šetrných k životnému prostrediu, s vyšším obsahom pevných častíc, alebo zmenenými vlastnosťami ich jednotlivých prvkov.

2.1.2 Spotreba farby

Vzhľadom na ceny náterových hmôt, ktoré v súčasnosti môžu predstavovať výraznejšiu časť nákladov na výrobu produktu, je potrebné venovať zvýšenú pozornosť optimalizácii spotreby nanášania náteru. Chcel by som uviesť niektoré aspekty optimalizácie procesu nanášania tekutej náterovej hmoty prostredníctvom striekania vysokotlakovými tryskami. Analýza zjednodušeného modelu vysokotlakového striekania je uvedená v [10] s nasledujúcimi zisteniami:

Pri bezvzduchovom vysokotlakovom systéme nanášania tekutej náterovej hmoty sa proces realizuje rozprašovaním materiálu na mikroskopické kvapky prostredníctvom trysky a vytváranie

výsledného náterového filmu na materiál v podobe nastriekanej stopy. Reálna stopa pri zvolenej tryske v striekacej pištoli má tvar deformovanej elipsy s nevýrazným obrysom. Hrúbka nastriekaného náteru sa mení pozdĺž osí elipsy (najväčšia je v strede elipsy), pričom profil rozloženia hrúbok má charakter normálového rozdelenia a je závislý na troch dôležitých parametroch:

- *tlak* - ktorý však v rozmedzí 10 až 23Mpa nemá výrazný vplyv na profil hrúbok,
- *opotrebovanosť trysky* - kde v dôsledku opotrebovania trysky prúdiacou náterovou hmotou dochádza k nástreku väčších hrúbok s výrazným nárastom hrúbky hlavne v strede elipsy,
- *odstup*, vzdialenosť ústia trysky od povrchu materiálu.

Uvedeným parametrom je potrebné venovať pozornosť aj pri analýze reálne kolísajúcej hrúbky náterového filmu vytváraného postupným nanášaním stôp na povrch konkrétneho striekaného výrobku. Pri opotrebovanej tryske sa totiž zhorší spôsob prekryvania jednotlivých stôp, dochádza k výraznému ovplyvneniu spotreby ako aj straty náterových hmôt. Obdobný účinok má aj parameter odstupu ústia trysky od striekaného povrchu, ktorý je v prípade ručného nanášania ovplyvnený subjektívnym činiteľom závislým na ergonómike a zložitosti prístupu plochy konštrukcie.

Na základe týchto skutočností môžeme tvrdiť, že je potrebné, aby reálna stopa striekaného lúča bola vedená tak, aby vzájomné prekryvanie stôp viedlo k nanášaniu relatívne rovnomerných požadovaných hrúbok náteru. Je samozrejmé, že kúty a iné zle prístupné miesta konštrukcie musia byť nevyhnutne striekané viackrát (prekrytie viacerých stôp), čo vedie k nanášaniu väčších hrúbok v týchto miestach, pričom tento fakt nemožno eliminovať pri hodnotení hrúbok náterového filmu. Ide totiž o *technologicky nevyhnutné nanesenie väčších hrúbok náteru*. Taktiež nemožno vylúčiť pomerne nerovnomerné rozloženie hrúbok na komplikovanej konštrukcii.

V zásade je možné rozdeliť celkovú spotrebu farby na konkrétny výrobok na:

- *teoretickú spotrebu*, podiel množstva spotrebovanej náterovej hmoty, ktorá je v procese nanesená na výrobok, teda vrátane vyplnenie geometrických nerovností a technologicky nevyhnutného nanášania väčších hrúbok náteru,
- *podiel spotreby farby, ktorá tvorí straty* (resp. množstvo farby, ktorá nie je nanesená na výrobok) a ide o tieto hlavné druhy strát[11]:
 - o *straty prestrekom*, technologicky nevyhnutné pri technológii striekania,
 - o *priame a nepriame straty*, dôsledkom manipulácie a nedodržania zásad práce s náterovými hmotami.

V druhom prípade ide hlavne o nevhodné miešanie, prelievanie, nezužitkovanie namiešaných zmesí náterových hmôt a zvyškov v obaloch, nedokonalé umývanie striekacích zariadení, ktoré tak isto vplýva na opotrebovanie a životnosť technologického zariadenia.

Obdobne nepriamo ovplyvňuje straty aj konzistencia a viskozita náterovej hmoty. Preto je potrebné pri príprave farby dodržať predpísaný postup, aby nedošlo k zmene kvantitatívnych, ale aj kvalitatívnych vlastností mokrého náterového filmu a teda aj výšky strát.

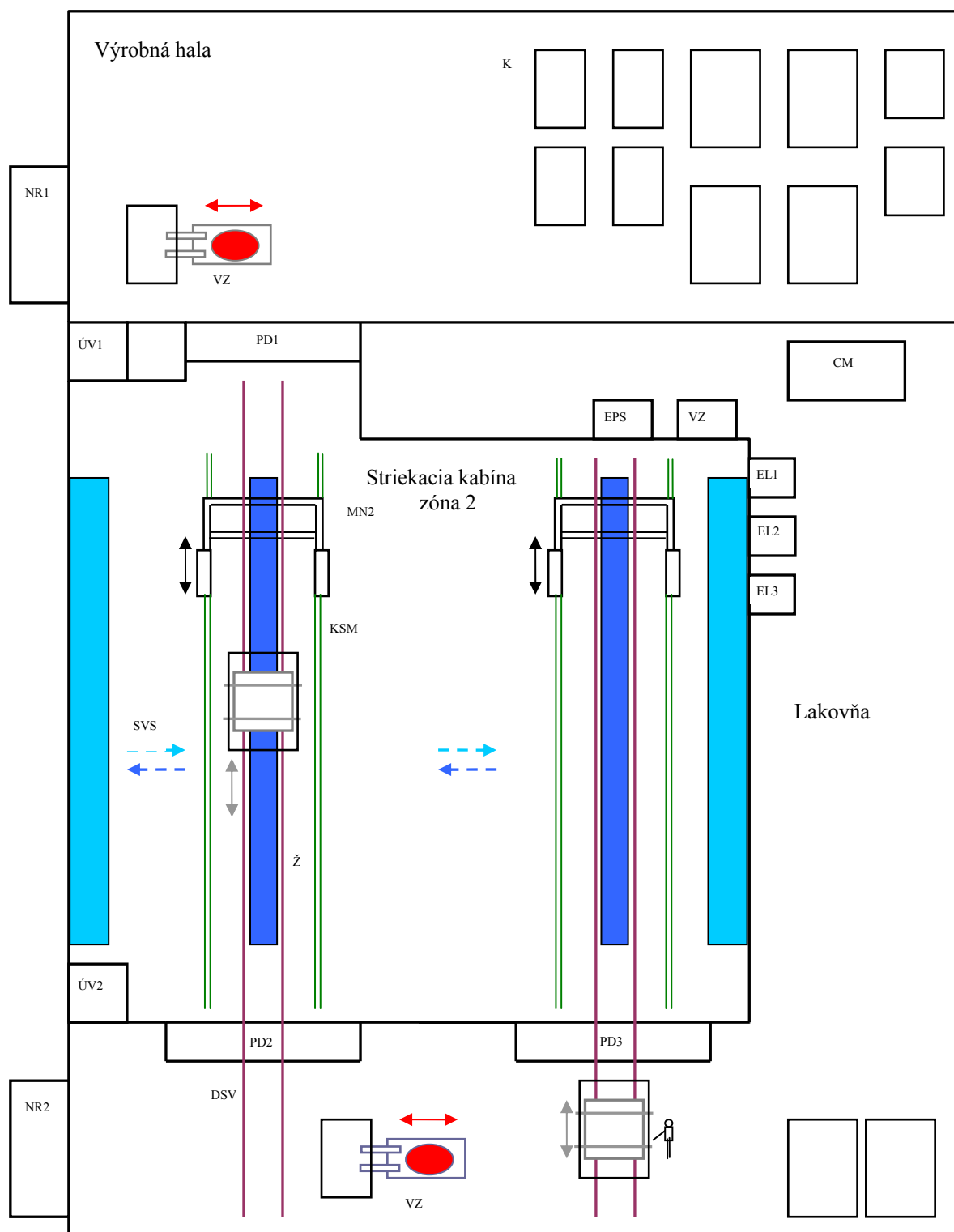
Taktiež nemôžeme vynechať externé poveternostné vplyvy, alebo podmienky v striekacom boxe (cirkulácia, teplota, vlhkosť vzduchu v priestore nanášania, kvalita striekaného povrchu...), ktoré môžu mať taktiež nepriamy vplyv aj na spotrebu a veľkosť strát náterových hmôt. Nepriamo môže spotrebu a teda aj náklady na farby ovplyvniť aj oprava náteru zhotoveného za nevhodných podmienok a nevhodným spôsobom.

2.2 Popis zariadení lakovacej linky

Nanášanie tekutej farby prebieha v odsávanom a vykurovanom priestore striekacej kabíny zobrazenej na blokovej schéme obrázka 2.2. Striekacia kabína bola navrhnutá pre konkrétne rozmery lakovaných výrobkov a s prihliadnutím na kapacitné požiadavky zákazníka. Striekané výrobky (kontajnery) sú premiestňované pomocou vysokozdvížných vozíkov z výrobnéj haly do priestoru lakovne cez vonkajší priestor nakladacích rámp.

Na nanášanie tekutej farby boli vyrobené dva manipulátory. Manipulátory majú na sebe osadené striekacie pištole pracujúce na princípe vysokotlakového striekania. Tieto automatické striekacie pištole prevádzajú vratný pohyb (hore – dole, zľava - doprava) a natáčanie do strán pomocou elektromotora a elektropneumatického ovládacieho modulu. Detekciu veľkosti striekaného predmetu a následného odstavenia alebo zapnutie jednotlivých pištolí v striekacej kabíne zabezpečuje na základe vopred zadaných rozmerov kontajnera riadiaci systém lakovacej linky. Pre dosiahnutie maximálnej kvality a úspory farby je nutné pravidelne vymieňať, čistiť trysky na striekacích pištoliach. V prípade výmeny tekutej farby za iný farebný odtieň je nutné vykonať čistiaci mód, v ktorom sa rozvodné potrubie farby a striekacia jednotka prečistí.

Celá lakovacia linka je rozdelená na 3 bezpečnostné zóny s označením zóna 2 (3.4.2), zóna BNV 4.1.1 a zóna BNV 3.1.1. V zóne 2 v ktorej prebieha samotné lakovanie musia byť použité elektrické zariadenia s krytím Ex II3G EEx de IIA T2 IP54. V tejto zóne pri používaní horľavých látok môže dôjsť k vzniku požiaru a preto všetky použité el. zariadenia ako motory, snímače, pneumatické zariadenia, rozvodné krabice musia mať certifikát povoľujúci použitie týchto zariadení vo výbušnom prostredí. Ostatné dve zóny sú bez EEx prevedenia a s krytím IP44 a IP20.



Obr. 2.2 Bloková schéma výrobnéj a lakovacej haly

NR	Nakladacia rampa
UV	Únikový východ
PD	Požiarne dvere
MN	Manipulátor
EPS	Elektronický požiarly systém
VZ	Vzduchotechnika
CM	Kompresor
EL	Elektorozváždač
VZ	Vysokozdvížny vozík
K	Kontajner
Ž	Žľab s filtračnými patrónami na odsávanie prebytočnej farby
KSM	Koľajový systém manipulátora
DSV	Dopravníkový systém manipulačných vozíkov
SVS	Sací a vetrací systém lakovne

2.2.1 Vetranie lakovne

Striekacia hala je vybavená centrálnym tlakovým vetraním. Na toto vetranie sú určené štyri sacie a štyri odsávacie ventilátory zabezpečujú optimálne prevetrávanie haly lakovne. V prípade poruchy akéhokoľvek ventilátora bude automaticky zabezpečené odstavenie prívodu vzduchu do striekacej pištole. Zabezpečí to elimináciu nárastu nebezpečných látok v priestore lakovne. V prípade výpadku el. energie bude zabezpečené otvorenie vstupných dverí z vonkajšieho prostredia, čím sa zabezpečí prevetrávanie priestoru lakovne. Dvere do lakovne sú vybavené dverným snímačom, čím je zabezpečené odstavenie procesu striekania počas otvorenia dverí. Výfuk odvetrávacieho potrubia je vyvedený do vonkajšieho prostredia, na strechu lakovne. Takýto typ vetrania spĺňa požiadavky kladené na nútené vetranie podľa čl. B5 STN EN 60079-10.

V striekacej kabíne je možné striekať kontajnery pomocou manipulátora na dvoch koľajach súčasne. V závislosti od použitia jednej alebo oboch koľají bude prebiehať regulovanie tlakového vetrania. Toto vetranie musí zabezpečovať prevetrávanie celej lakovne formou odsávania prebytočnej farby a znečisteného vzduchu a vŕhania čerstvého vzduchu. Prebytočná farba, ktorá neostane na výrobku, prípadne prestreky sú odsávané a zachycované na filtračných patrónach umiestnených v žľabe pod kontajnerom po celej dĺžke nanášanej farby. Tie zabezpečujú, aby odsaté častice farby nemohli preniknúť do filtračného média, ale zostali odlúčené na povrchu. Tento odsávací kanál je krytý staviteľným plechom a odsávaný vzduch je vedený potrubným systémom filtračného systému. Výkonný ventilátor umiestnený na konci systému zaisťuje správny výkon odsávania. Vzduch z filtračných patrón je vracaný späť do haly cez ventilátor a filtračný vak. Filtračné zariadenia sú vybavené snímačom kontroly diferenčného tlaku, ktorý indikuje stupeň zanesenia. Filtračné patróny sa následne čistia stlačeným vzduchom, alebo sa rovno vymieňajú.

2.2.2 Vykurovanie lakovne

Na dokončenie lakovania je potrebný u tekutej farby proces sušenia. Je nutné zabezpečiť cirkuláciu vzduchu a správnu vnútornú teplotu haly zaisťujúcu rýchly a efektívny prestup tepla do lakovaných dielcov.

Pre zaistenie konštantnej teploty v rozsahu niekoľkých stupňov je potrebné aby prúdenie vzduchu bolo rovnomerne rozdeľované po celej dĺžke haly prostredníctvom výkonných ventilátorov. Ohrev sušiaceho priestoru haly je zabezpečený prostredníctvom výkonného tepelného výmenníka s plynovým ohrevom. Konštrukcia bočných stien sušiaceho priestoru musí

zabezpečovať minimálny prestup tepla z vnútornej strany do vonkajšieho okolia. Hrúbka izolačnej minerálnej vlny je prispôbená požadovanej maximálnej teplote.

2.2.3 Požiarny systém lakovne

Z dôvodu nebezpečenstva požiaru boli na striekací manipulátor nainštalované elektronické požiarne snímače. V prípade aktivácie požiarneho snímača sa spustí siréna a začne hasenie pomocou ručných hasiacich prístrojov osadených na konštrukcii manipulátora.

2.2.4 Požiarne dvere a únikové východy lakovne

Prístup do striekacej kabíny je riešený prostredníctvom trojice veľkých požiarnych dverí a dvoch únikových východov. Dvojica požiarnych dverí je umiestnených v novej hale lakovne a tretie dvere sú umiestnené na opačnej strane a spájajú výrobnú halu so striekacou kabínou. Požiarne dvere sú určené na presun manipulačného vozíka s kontajnerom po koľajnicovom dopravnom systéme. Únikové východy slúžia ako únikový východ pre pracovníkov lakovne v prípade požiaru alebo pri inom ohrození zdravia. Každé z týchto dverí sú osadené bezpečnostným dverným snímačom a signál z tohto snímača je vyvedený do riadiaceho systému vetrania.

2.2.5 Dopravníkový systém lakovne

Dopravníkový systém je neoddeliteľnou súčasťou lakovacích liniek a jeho úlohou je zabezpečiť prepravu výrobkov lakovacou linkou. Dopravníkový systém môže mať rôznu konštrukciu v závislosti od veľkosti a typu prepravovaného materiálu. Pre zariadenia vyžadujúce flexibilnejšiu dopravu sa vyrábajú zložitejšie dopravníkové systémy, ktoré umožňujú ľubovoľné riadenie a zastavovanie, bez vplyvu na ostatné pohybujúce sa výrobky. Umožňuje to flexibilnejšiu dopravu a zastavovanie vozíka pri technologickom procese predúpravy, lakovania a sušenia. Tento systém môže byť následne poskladaný z niekoľkých dopravníkov, rotačných alebo zdvíhacích zariadení, tak aby bol zabezpečený pohyb rôznymi smermi. Pohon dopravníkového systému je buď manuálny alebo automatický pomocou elektrických motorov.

Na prepravu lakovaných kontajnerov z výrobnéj haly do lakovne sa použili vysokozdvížné vozíky a následne pozemný dopravníkový systém prepravného vozíka pohybujúci sa po koľajovej trati. Prepravné vozíky sú konštruované na prepravu rôznych rozmerov kontajnera. Pohyb je zabezpečovaný manuálne pomocou otáčania kľuky hriadele, ktorá pohybuje kolesami vozíka po koľajovej trati. Umiestnenie tovaru na prepravný vozík dopravníkového systému je zabezpečovaný pomocou vysokozdvížného vozíka.

2.2.6 Prívod vzduchu ku manipulátorom

Prívod vzduchu pre manipulátor je zabezpečovaný pomocou kompresora KAESER s označením ASK 35T. Z kompresora bol vzduch vedený do dvoch regulačných ventilov od firmy Festo. Na nich sa nastavil potrebný tlak vzduchu o hodnote 7 barov pre každý manipulátor.

2.2.7 Striekací manipulátor

Pri výbere zariadenia, ktoré bude zabezpečovať pohyb a presun striekacích pištolí okolo kontajnera bolo niekoľko alternatív riešenia. Jednou z možností bolo použitie aj lakovacích robotov ktoré sa využívajú hlavne v automobilovom priemysle. Ich výhody sa prejavujú hlavne pri lakovaní zložitejších tvarov, rýchlosti a presnosti nástreku. Nevýhodou takéhoto riešenia osadeného lakovacími robotami je hlavne cena.

Z tohto dôvodu sa rozhodlo o skonštruovaní dvojice identických manipulátorov (Obr. 2.3) s prihliadnutím na konkrétne rozmery daných lakovaných kontajnerov a požiadavky zákazníka. Pohyb manipulátora a striekacích trysiek bol zabezpečený pomocou elektrických motorov a pneumatických piestov, riadených riadiacim systémom PLC.



Obr. 2.3 Pohyb jednotlivými osami

2.2.8 Striekacie zariadenie manipulátora

Základom pre kvalitný nástrek tekutej farby je správne pripravený povrch výrobku. Tento proces predúpravy prebieha v závislosti od technologického postupu, veľkosti a druhu výrobku

a požiadaviek zákazníka. K dispozícii sú mnohé mechanické a chemické technologické postupy. Všetky tieto postupy majú spoločný cieľ a to povrch odmastiť, vyčistiť, opatriť protikoróznou ochranou a dobrým priľnavým podkladom pre následný nástrek farby. Proces chemickej predúpravy môže byť manuálny pomocou vysokotlakových čističov alebo automatický skladajúci sa z niekoľkých technologických stupňov, v ktorých sú dielce postrekované alebo namáčané do chemikálie a oplachované demineralizovanou vodou zbavujúcou výrobky prebytočnej chemikálie. Na čistenie kontajnerov sa použilo pôvodné riešenie a to čistenie a odmastenie pomocou technického benzínu.

Pri nanášaní farieb je veľmi dôležitý spôsob, akým sa nanášaná farba aplikuje na povrch výrobku. Súhrn týchto spôsobov a systémov sa nazýva *nanášacia technika*. V súčasnosti sa v priemysle používa celý rad nanášacích spôsobov a zároveň sa vyvíjajú stále nové. Každá nanášacia technika má obmedzené použitie len pre určitý druh a tvar výrobku tak, aby sa dosiahla čo najväčšia hospodárnosť lakovacích prác. Správna voľba nanášacej technológie a stav používaných nanášacích zariadení, či pomôcok ovplyvňuje kvalitu a tým aj celkovú životnosť náterov. Voľbu nanášania ovplyvňujú popri tvare výrobku predovšetkým ekonomické hľadiská, druh a vlastnosti použitej náterovej látky. Pri výbere nanášacej techniky je potrebné uvažovať aj o požadovanej kapacite výroby, potrebných investíciách, energetických nárokoch, potrebe pracovných síl, o stratách náterovej látky pri aplikácii a taktiež je potrebné rešpektovať aj ekologické hľadiská.

Princíp striekania náterovej látky spočíva v tom, že prúd vzduchu rozprašuje náterovú látku na malé čiastočky, ktoré unáša a vrhá na povrch, kde sa navzájom spájajú, zlievajú a vytvárajú súvislú vrstvu. Striekanie patrí medzi najrozšírenejšie spôsoby nanášania náterových látok pre pomerne veľký výkon. Na nanášanie tekutých náterových látok sa používa niekoľko modifikácií tohto spôsobu.

Striekanie stlačeným vzduchom (pneumatické)

Pneumatické striekanie je klasický spôsob nanášania náterových látok. Pri tomto spôsobe nanášania sa prúdením veľkého množstva stlačeného vzduchu veľkou rýchlosťou cez trysku striekacej pištole vytvárajú kvapôčky náterovej látky, ktoré sa rozprašujú v tvare kužeľa na upravený povrch. Vplyvom povrchového napätia sa na povrchu spoja, zlejú a vytvoria súvislý náterový film. Veľkosť priemeru trysky striekacej pištole, tlak vzduchu a viskozita náterovej látky musia byť v určitom vzájomnom pomere.

Striekanie vysokotlakovým striekaním (bez vzduchu)

Pri tomto striekaní sa na rozprašovanie nepoužíva vzduch, ale hydrostatický tlak náterovej látky. Tomuto striekaniu sa tiež hovorí bezvzduchové (airless). Náterová látka sa rozprašuje v rozprašovacom zariadení, do ktorého sa vháňa pod tlakom 1 až 30 Mpa. Toto striekacie zariadenie má veľký výkon a produktivitu a preto sa používa na striekanie veľkej, ale nie príliš členitej plochy.

Na aplikáciu nanášania náterovej hmoty na kontajner sa použila dvojica profesionálnych vysokotlakových piestovo-pneumatických striekacích zariadení od firmy Graco s označením Merkur[18]. Toto striekacie zariadenie slúži na aplikáciu vodou riediteľných a rozpúšťadlových materiálov na drevo a kovy. Celonerezová konštrukcia pumpy s možnosťou nastavenia a regulácie výkonu je vhodná k vysokým výkonom pri dlhej životnosti a nízkych prevádzkových nákladoch. Zariadenie disponuje dostatočným objemovým výkonom pre napojenie až dvoch striekacích pištolí. Vzduchový motor má precíznu reguláciu a veľmi tichý chod. Zariadenie spolu s náterovou farbou sa umiestnilo na bočnú konštrukciu manipulátora, odkiaľ sa náterová hmota rozvádza do jednotlivých striekacích pištolí.

2.2.9 Riadiaci systém

Technologické linky na povrchovú úpravu sú riadené takmer výhradne programovateľnými logickými automatmi PLC. Tento systém má prakticky neobmedzené možnosti v tom, ako technológiu ovládať, monitorovať a tým maximálnym spôsobom kontrolovať celý proces úpravy povrchov.

Hlavnými výhodami riadiaceho systému založeného na programovateľných automatoch PLC sú:

- presné riadenie procesov,
- jednoduché rozšírenie,
- záloha riadiaceho systému,
- spoľahlivosť zariadenia.

Presné riadenie procesov:

Programovateľné automaty pre riadenie lakovní sú dodávané firmami s celosvetovou pôsobnosťou v oblasti priemyselnej automatizácie. Jednou z takýchto firiem je aj japonská spoločnosť Omron[13]. Jej PLC automaty pracujú s vysokorýchlostnými procesmi s rýchlosťou až 100 ns na inštrukciu. Rýchlosť procesu umožňuje riadiacej jednotke spracovať vložený program podľa jeho zložitosti asi 200 krát za sekundu. Takto je možné prispôsobiť všetky časovo závislé operácie presne podľa požiadaviek zákazníka a to i v reálnom čase. Samozrejmosťou je potom automatické spúšťanie technológie pred začiatkom pracovnej doby. Obsluha tak nečaká na zahriatie lakovne.

Jednoduché rozšírenie:

Široká škála základných dosiek a veľké množstvo rozširujúcich modulov sú pevným štandardom pre vytvorenie na mieru postaveného riadenia najzložitejších technologických liniek a procesov. Prípadnú požiadavku na zmenu prevádzky je možné riešiť veľmi efektívne, a to pridaním nového zariadenia alebo vložením rozširujúceho modulu a následnou úpravou programu v existujúcom systéme. Tento systém umožňuje nepretržitý chod stávajúceho systému a prechod na prevádzku s prídavným zariadením v časovom rozsahu niekoľkých minút. Zmena pri klasickom reléovom zapojení vyžaduje odstavenie technológie na niekoľko hodín, pri väčších zmenách i na niekoľko dní.

Záloha riadiaceho programu:

V prípade havárie prevádzky z dôvodu hardvérovej poruchy systému je obnova riadenia veľmi jednoduchá. V hlavnom rozvádzači sa vymenia elektrické komponenty PLC a nahrá sa zálohovaný program. Oprava reléového rozvádzača, kde PLC nahrádza desiatky až stovky časových a iných relé, zložito zapojených, sa prakticky rovná novej výrobe rozvádzača s vysokým rizikom chybného zapojenia, a tak veľkým časovým stratám pri spúšťaní technológie.

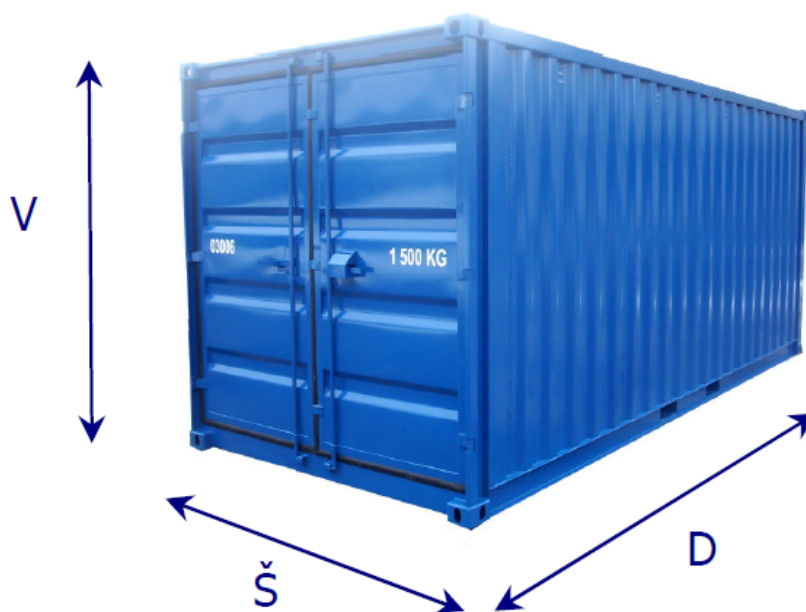
Spoľahlivosť zariadenia:

Vyhotovenie riadiacich systémov PLC je stavané do priemyselných podmienok, kde je zvýšená teplota, vlhkosť, prašnosť, otrasy a odolnosť voči rôznym formám rušenia. Ak dochádza k zlyhaniu zariadenia, tak to je v 70% spôsobené vonkajšími príčinami. Je to zapríčinené poškodením vstupno-výstupných zariadení alebo nesprávnou obsluhou zariadenia a ľudským faktorom.

3 Návrh a realizácia riadiaceho systému lakovacej linky

Hlavnou požiadavkou na funkciu lakovne bol automatický systém riadenia povrchovej úpravy skladových kontajnerov (Obr. 3.1). Konkrétne bol záujem o nastriekanie kontajnera, ktorý bol ručne prisunutý na vopred stanovené miesto koľaje číslo 1 alebo 2 pomocou manipulačného vozíka. Tento kontajner sa následne ručne očistil pomocou technického benzínu a bol pripravený na začatie automatického procesu striekania. Požiadavkou bolo zadávanie rôznych rozmerov kontajnerov a na ich základe by dva nezávislé konštrukčne a hardvérovo identické manipulátory na koľaji číslo 1 alebo 2 vykonali proces nanášania farby. Znamenalo to postupné obídenie kontajnera a nastriekanie prednej, vrchnej, bočných a zadnej strany. Súčasťou voľby striekania bola aj možnosť vynechanie striekania zvolenej strany kontajnera. Nastriekanie vnútra a spodku kontajnera nebolo požadované. Celý tento proces striekania kontajnerov prebiehal v striekacej kabíne, kde bola zabezpečená konštantná teplota a kvalitné prevetrávanie.

V tabuľke 3.1 sú zobrazené rôzne vyhotovenia kontajnerov, ktoré sa odlišujú rôznymi vonkajšími rozmermi. Najmenší kontajner má rozmer 1800x1850x1980 a najväčší má rozmer 2591x2438x6058.



Obr. 3.1 Vyhotovenie kontajnerov

Ft	Označenie KOVO SIPOX	Vonkajšie rozmery (mm)			Otvor dverí (mm)		Vnútorne rozmery (mm)		
		Výška	Šírka	Dĺžka	Výška	Šírka	Výška	Šírka	Dĺžka
6'	S2 (00/HP)	1800	1850	1980			1740	1760	1800
6'	S7 (00/HP)	1910	1950	1980			1750	1860	1800
8'	S6 (00/HP)	2150	2000	2438	1832	1880	1965	1904	2276
8'	G8 (00/HP)	2250	2000	2438	1943	1880	2056	1904	2276
8'	G6 (00/HP)	2250	2200	2438	1943	2080	2056	2104	2276
10'	S5 (00/HP)	2591	2438	2991	2272	2318	2397	2342	2829
15'	G4 (00/HP)	2150	2000	4500	1832	1880	1956	1904	4338
15'	K4 (00/HP)	2591	2000	4500	2272	1880	2397	1904	4338
15'	K9 (00/HP)	2591	2438	4500	2272	2318	2397	2342	4338
20'	S3 (00/HP)	2591	2438	6058	2272	2318	2397	2342	5896

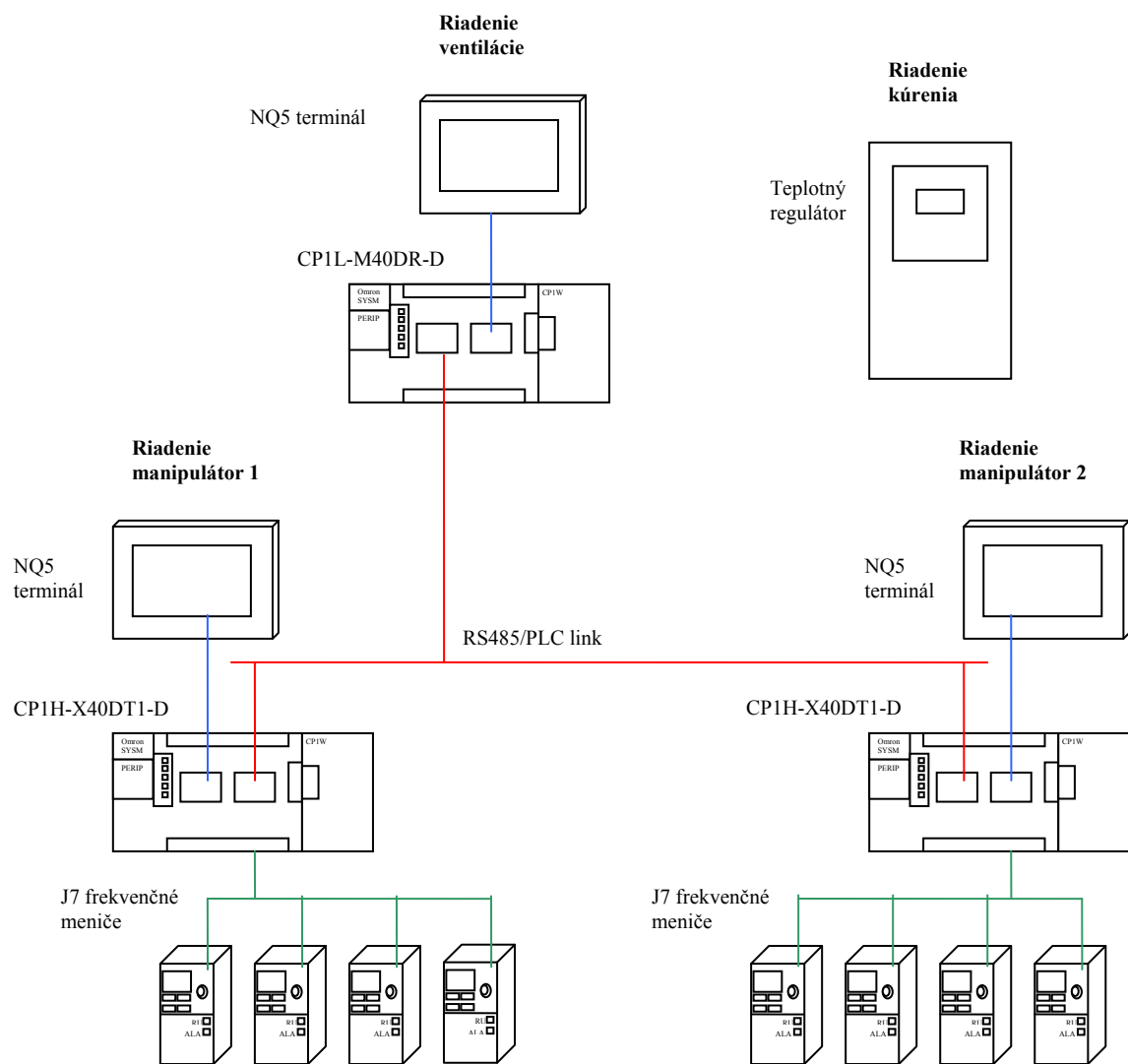
Tab. 3.1 Rozmery skladových kontajnerov

3.1 Návrh riadiaceho systému

Pre riadenie technológie lakovne bol zvolený riadiaci systém Omron[12]. Celý riadiaci systém bol rozdelený na 3 nezávislé decentralizované systémy PLC Omron, navzájom prepojené sériovou komunikačnou linkou. Tieto kompaktné PLC rady CP1 zabezpečujú riadenie *vetracieho systému lakovne* a riadenie *manipulátora* na prvej a druhej koľaji. Každý z riadiacich systémov bol umiestnený v zvlášť el. rozvádzači.

Na riadenie vetracieho systému je použitý kompaktný riadiaci systém spoločnosti Omron CP1L. Vizualizácia procesu je zobrazená na čiernobielym dotykovom terminále Omron NS5. Na riadenie manipulátora na koľaji číslo 1 a 2 je použitý kompaktný systém vyššej rady s označením CP1H. Riadený je proces pohybu jednotlivých os manipulátora, na ktorom sú umiestnené striekacie pištole. Pohyb a striekanie prebieha na základe povelov z riadiaceho systému do frekvenčných meničov a striekacích trisiek, na základe vopred zadaného rozmeru kontajnera. Riadiaci systém manipulátora číslo 1 a 2 obsahuje identický program. Ovládanie manipulátorov je prostredníctvom farebného dotykového terminálu Omron NS5.

Na obrázku 3.2 je nakreslená bloková schéma prepojenia riadiacich systémov lakovne.



Obr. 3.2 Bloková schéma prepojenia riadiacich systémov lakovne

3.1.1 Riadiaci systém PLC Omron

Na základe potreby a požiadaviek zákazníka na riadenie lakovacej linky bolo vybrané riešenie s použitím kompaktných variant PLC s označením CP1L a CP1H doplnených o rozširujúce vstupno-výstupné a komunikačné karty.

Riadiaci systém CP1L

Je to kompaktná rada malého PLC pre jednoduché a stredne náročné aplikácie s 14, 20, 30 alebo 40 vstavanými I/O (vstupno-výstupné signály). S možnosťou rozšírenia až na 160 vstupno-výstupných signálov pomocou rozširujúcich kariet CP1W. PLC obsahuje 4 vysokorýchlostné čítače, 2 vysokorýchlostné pulzné výstupy, 6 prerušovacích vstupov. Na programovanie a monitorovanie programu slúži USB port. Pomocou dvoch voliteľných komunikačných modulov je možné rozšírenie komunikácie o sériové rozhranie RS232, RS422/485 a ethernet. K dispozícii sú rozširujúce I/O moduly, AD/DA karty a termočlánkové moduly [12],[13].



Obr. 3.3 Riadiaci systém PLC CP1L

Typ použitého PLC		CP1L-M40DR-D
Napájacie napätie		24VDC
Integrované vstupy/výstupy	vstupy	24 digitálnych vstupov
		4 vstupy n-kóderov (100kHz)
		6 vstupov prerušenia/čítačov
	výstupy	16 reléových výstupov
Možnosti rozšírenia		maximálny počet vstupov/výstupov 160
		pripojenie max. 3 rozširujúcich modulov
Bitová a slovná pamäť časovače/čítače		programová kapacita 10 tisíc slov
		kapacita dátovej pamäte 32 tisíc slov
		časovače/čítače 4096
		CIO oblasť integrovaných vstupov CIO 0.00 až CIO 0.11, CIO 1.00 až CIO 1.11
		CIO oblasť integrovaných výstupov CIO 100.00 až CIO 100.07, CIO 101.00 až CIO 101.07
		pracovné bity W 512 slov, CIO 2344 bitov, H 512 slov, AR 448 slov, D 32tisíc slov
Čas spracovania		rýchlosť prevádzania logických operácií 0,55us
Programovací jazyk, inštrukcie		Ladder, Funkčné bloky – ladder alebo štruktúrovaný text ST
		počet inštrukcií 500
		pamäť 1 až 7 krokov na inštrukciu
Počet úloh		288 (32 cyklických úloh a 256 úloh prerušenia)
Komunikácia		integrovaný USB port na programovanie
		2 voliteľné porty pre rozširujúce moduly

Tab. 3.2 Parametre použitého PLC CP1L

Riadiaci systém CP1H

Táto kompaktná rada malého PLC vychádzajúca z konceptu modulárneho systému Omron CJ pre stredne náročné aplikácie so 40 vstavanými I/O. S možnosťou rozšírenia až na 320 vstupno-výstupných signálov. Procesorová jednotka má 4 vstupy vysokorýchlostného n-kóderu do 1 MHz (jednofázové) a 4 impulzné výstupy do 1 MHz, ktoré sú ideálne pre nastavovanie polohy a reguláciu rýchlosti. Disponuje 4 voliteľnými analógovými vstupmi a 2 analógovými výstupmi. Je štandardne vybavená USB rozhraním pre programovanie a monitorovanie stavu PLC s možnosťou pripojenia dvoch sériových portov alebo ethernetu pre komunikáciu s programovateľnými terminálmi a priemyselnými zariadeniami. Rýchlosť prevádzania inštrukcií je kompatibilná s vyššou radou CJ1 (0,1μs). K dispozícii sú rozširujúce I/O moduly, komunikačné moduly (maximálne dve jednotky rady CJ), AD/DA prevodník a termočlánkové moduly [12],[13].



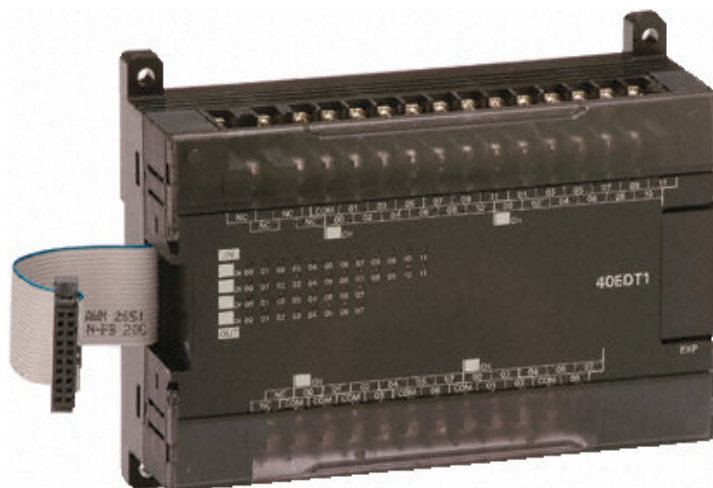
Obr. 3.4 Riadiaci systém PLC CP1H

Typ použitého PLC		CP1H-X40DT1-D
Napájacie napätie		24VDC
Integrované vstupy/výstupy	vstupy	24 digitálnych vstupov
		4 vstupy n-kóderov (100kHz)
		8 vstupov prerušenia/čítačov
	výstupy	16 PNP tranzistorových výstupov
		4 pulzné výstupy (100kHz)
Možnosti rozšírenia		maximálny počet vstupov/výstupov 320
Bitová a slovná pamäť časovače/čítače		programová kapacita 20 tisíc slov
		kapacita dátovej pamäte 32 tisíc slov
		časovače/čítače 4096
		CIO oblasť integrovaných vstupov CIO 0.00 až CIO 0.11, CIO 1.00 až CIO 1.11
		CIO oblasť integrovaných výstupov CIO 100.00 až CIO 100.07, CIO 101.00 až CIO 101.07
		pracovné bity W 512 slov, CIO 4640 bitov, H 512 slov, AR 448 slov, D 32tisíc slov
Čas spracovania		rýchlosť prevádzania logických operácií 100ns
Programovací jazyk, inštrukcie		Ladder, Funkčné bloky – ladder alebo štruktúrovaný text ST
		počet inštrukcií 500
		pamäť 1 až 7 krokov na inštrukciu
Počet úloh		288 (32 cyklických úloh a 256 úloh prerušenia)
Komunikácia		integrovaný USB port na programovanie
		2 voliteľné porty pre rozširujúce moduly
		3 voliteľné karty s CJ rady PLC

Tab. 3.3 Parametre použitého PLC CP1H

Rozširujúce vstupno-výstupné karty CP1W

Tieto rozširujúce I/O karty slúžia k rozšíreniu počtu vstupov a výstupov. Okrem pripojenia digitálnych vstupov, výstupov je možné pripojiť aj analógové a termočlánkové karty. Pripojenie k riadiacemu systému CP1L, CP1H je prostredníctvom 20 žilového kábla, ktorý je súčasťou každej rozširujúcej karty. Karty sa pripájajú k riadiacemu systému pri vypnutom napájacom napätí PLC. Adresovanie rozširujúcej karty je pevne dané v závislosti od fyzického umiestnenia karty [12],[13].



Obr. 3.5 Rozširujúca vstupno-výstupná karta CP1W

Typ použitej rozširujúcej I/O karty		CP1W-16ER
Rozširujúce vstupy/výstupy	vstupy	-
	výstupy	16 reléových výstupov

Tab. 3.4 Parametre použitej rozširujúcej I/O karty

Typ použitej rozširujúcej I/O karty		CP1W-40EDT1
Rozširujúce vstupy/výstupy	vstupy	24 digitálnych vstupov
	výstupy	16 reléových výstupov

Tab. 3.5 Parametre použitej rozširujúcej I/O karty

Rozširujúce komunikačné karty CP1W

Tieto komunikačné moduly slúžia k rozšírenie komunikačných možností PLC rady CP1L a CP1H. Zasúvajú sa do riadiaceho systému pri vypnutom napájacom napätí PLC [12],[13].



Obr. 3.6 Komunikačný modul CP1W-CIF01



Obr. 3.7 Komunikačný modul CP1W-CIF11

Typ použitej komunikačnej karty	CP1W-CIF01
Typ rozhrania	sériové RS232
Komunikačné možnosti	protokol host link, NT link, PLC link, Modbus-RTU
Vzdialenosť komunikácie	15m

Tab. 3.6 Parametre použitej komunikačnej karty

Typ použitej komunikačnej karty	CP1W-CIF11
Typ rozhrania	sériové RS-422A/485
Komunikačné možnosti	protokol host link, NT link, PLC link, Modbus-RTU
Vzdialenosť komunikácie	500m

Tab. 3.7 Parametre použitej komunikačnej karty

3.1.2 Vizualizačný terminál Omron NS5

Táto najvyššia rada terminálov Omron pozostáva z monochromatických modelov s 16 stupňami šedej farby a z modelov STN/TFT s 30 768 farbami. Tieto modely sú vybavené USB rozhraním pre programovanie (sťahovanie a odosielanie projektu) a možnosťou komunikácie prostredníctvom siete Ethernet alebo dvojice sériového rozhrania RS232. Veľkou výhodou je možnosť použitia objektov SAP (Smart Active Parts) spoločnosti Omron, ktoré ušetria čas pri konfigurovaní, testovaní a údržbe stroja. Objekty SAP sú predprogramované a vyskúšané časti zobrazovacieho kódu s integrovaným komunikačným kódom, ktorý zjednodušuje návrh programu ovládacieho terminálu [12],[13].



Obr. 3.8 Vizualizačný terminál NS5

Typ použitého terminálu	NS5-MQ00-V2
Napájacie napätie	24VDC
Displej	čiernobieli 5,7 palcov
	farba 16 stupňov šedej
	rozlíšenie 320 x 240
	programová pamäť 6MB
	životnosť minimálne 50 000 hodín
Komunikácia	integrovaný USB port na programovanie
	dva sériové RS232C porty
	podporovaný protokol NT link

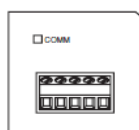
Tab. 3.8 Parametre použitého vizualizačného terminálu

Typ použitého terminálu	NS5-SQ00-V2
Napájacie napätie	24VDC
Displej	farebný 5,7 palcov
	256 farieb, obrazové dáta 4096 farieb
	rozlíšenie 320 x 240
	programová pamäť 6MB
	životnosť minimálne 50 000 hodín
Komunikácia	integrovateľný USB port na programovanie
	dva sériové RS232C porty
	podporovaný protokol NT link

Tab. 3.9 Parametre použitého vizualizačného terminálu

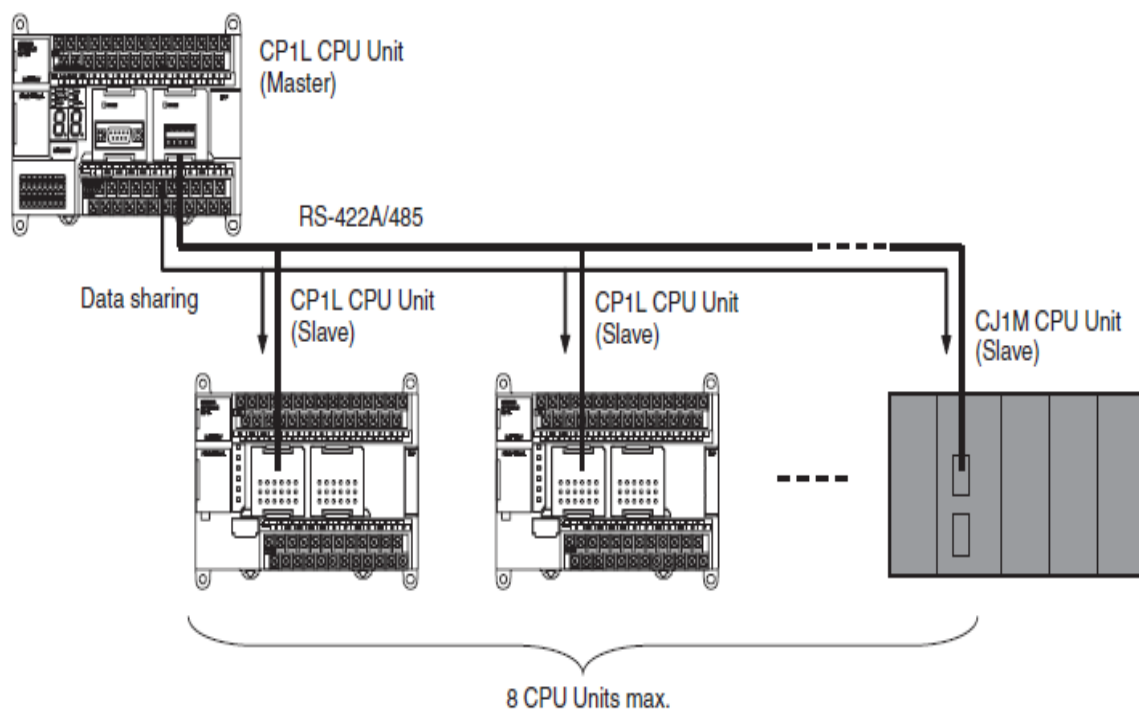
3.1.3 Prepojenie riadiacich systémov

Na prepojenie riadiacich systémov spoločnosti Omron sa použil protokol *Serial PLC link*. Na toto prepojenie bolo potrebné osadiť do všetkých PLC (CP1L/CP1H) voliteľný modul RS422A/485 (Obr. 3.9)



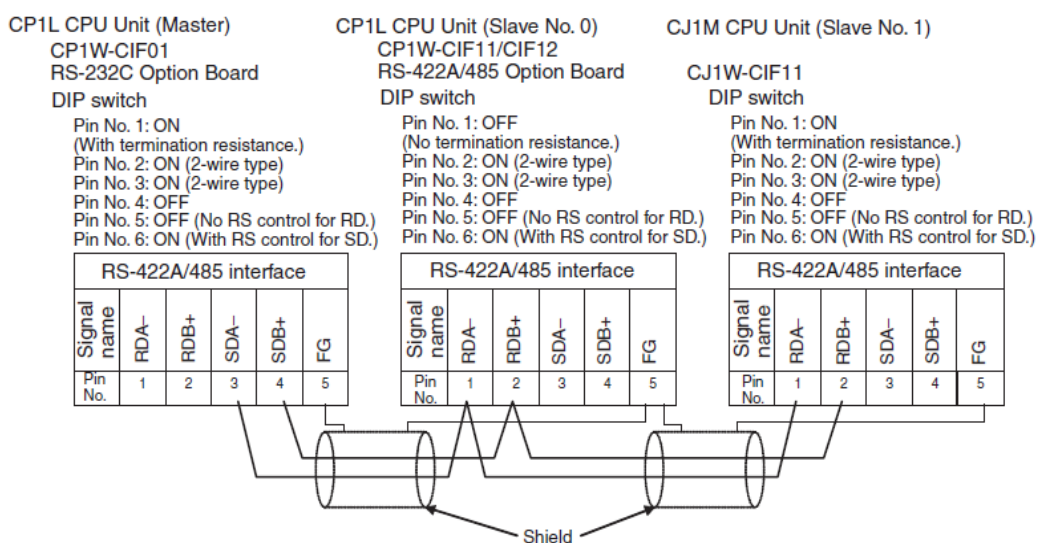
Obr. 3.9 Modul CP1W-CIF11

Pri použití týchto doplnkových modulov komunikácie RS422A/485 je možné prepojiť 9 jednotiek CP1L, CP1H, CJ (Obr. 3.10) na vzdialenosť až 500 m. Touto cestou je možné zdieľať 10 dátových kanálov (slov) pripadajúcich na každú procesorovú jednotku, bez potreby dodatočného programovania komunikácie [3].



Obr. 3.10 Zapojenie serial PLC link [3]

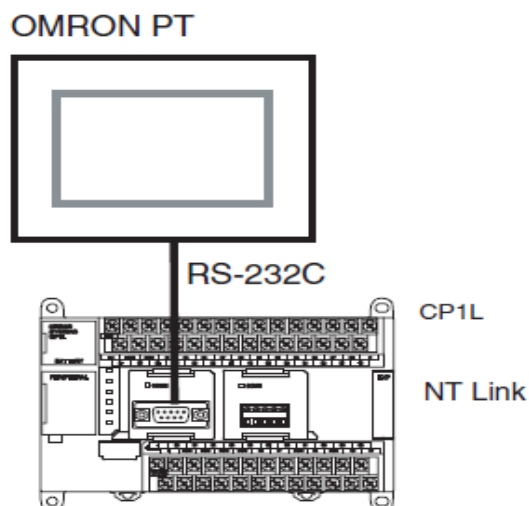
Pred zasunutím do PLC je nutné modul komunikácie RS422A/485 nakonfigurovať pomocou DIP prepínačov umiestnených na zadnej strane modulu. Z dôvodu použitia RS485 a dvojdrôtového prepojenia musíme pin 2 a 3 nastaviť do polohy ON. Na krajných komunikačných moduloch bude zapnutý pin 1 do polohy ON, čo predstavuje aktiváciu zakončovacieho odporu na koncoch vedenia. Z dôvodu kontroly posielania dát je zapnutý pin 6 do polohy ON. Na prepojenie sa použil dvojžilový tienený kábel a pripojil sa na svorky podľa obrázku 3.11 [3].



Obr. 3.11 Dvojdrôtové prepojenie jednotlivých PLC [3]

3.1.4 Prepojenie riadiaceho systému a vizualizačného terminálu

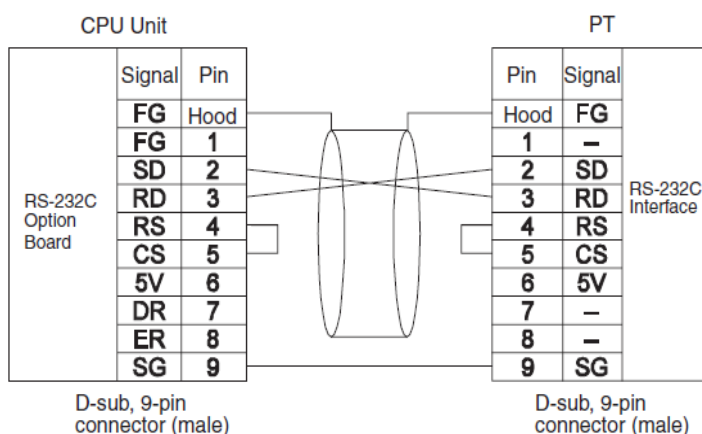
Na prepojenie vizualizačného terminálu a PLC je nutné osadiť do PLC voliteľný modul RS232C rozhrania. Na strane NS terminálu sú až dva voľné RS232C porty, pričom jeden z nich využijeme a pomocou komunikačného kábla prepojíme PLC s terminálom. Maximálna dĺžka komunikačného kábla je 15m, čo je limitované rozhraním RS232C. Tento kábel je možné zakúpiť, alebo vyrobiť podľa zapojenia na obrázku 3.13 [3].



Obr. 3.12 Prepojenie PLC a terminálu NS

Programmable Terminal (PT) Connections

Direct Connections from RS-232C to RS-232C Ports



Obr. 3.13 Zapojenie komunikačného kábla [3]

3.2 Návrh riadenia pohonov

Na základe potreby a požiadaviek zákazníka na riadenie pohonov lakovacej linky bolo vybrané riešenie s použitím skalárnych meničov Omron rady J7. Tieto mali riadiť striedavé asynchrónne motory s kotvou nakrátko od firmy Lenze s vyhotovením do Ex výbušného prostredia. Tieto motory boli osadené prevodovkou a pri motoroch na vertikálny posun mali motory aj integrované brzdy [16].

3.2.1 Elektromotor

Elektromotor je elektrické zariadenie premieňajúce elektrický prúd na mechanickú prácu, resp. na mechanický pohyb. Tento pohyb môže byť rotačný (rotačný motor) alebo lineárny (lineárny motor). Opačným zariadením premieňajúcim mechanickú prácu na elektrickú energiu je dynamo alebo alternátor. Konštrukčne sú oba tieto zariadenia veľmi podobné.

Základným princípom elektromagnetizmu je vzájomné silové pôsobenie elektromagnetických polí vytváraných elektrickými vodičmi, ktorými preteká elektrický prúd, resp. interakcia týchto polí s magnetickým poľom permanentného magnetu. Túto silu nazývame Lorentzova sila. V bežnom rotačnom motore je rotor umiestnený tak, aby magnetické pole vytvárané vo vodičoch rotora a magnetické pole statora vyvíjali krútiaci moment prenášaný na rotor motora. Tento krútiaci moment potom spôsobí rotáciu rotora, motor sa otáča a tým vykonáva mechanickú prácu. Výnimkou sú netočivé elektromotory napr. lineárny elektromotor, kedy rotor stroja je tvorený statickými cievkami umiestnenými okolo vodiacej dráhy lineárneho stroja (rotor je rozvinutý po dĺžke a neotáča sa) [17].

V súčasnosti sa hlavne používajú striedavé asynchrónne motory s kotvou nakrátko. V aplikáciách, kde je potrebné presne riadiť nie len otáčky, ale aj polohu rotora sa používajú striedavé servopohony (prípadne krokové motory) a to buď rotačné alebo lineárne.

Striedavý asynchrónny elektromotor s kotvou nakrátko

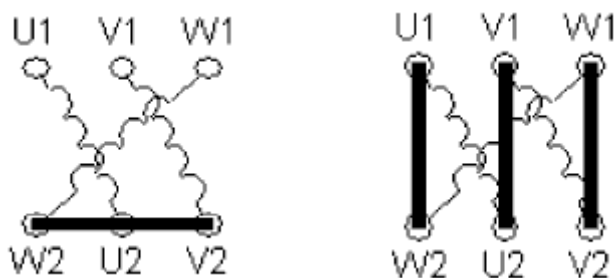
Rotor tohto motora sa skladá zo sady vodivých tyčí, usporiadaných do tvaru valcovej kľetky. Tyče sú na koncoch vodivo spojené a rotor sa potom nazýva *kotva nakrátko*. Pri stojacom motore rotujúce magnetické pole statora budí (indukuje) v tyčiach rotora elektrické prúdy, ktoré vytvárajú elektromagnetické pole rotora. Obe magnetické polia potom vzájomnou interakciou vytvárajú elektromagnetickú silu. Priblížením otáčok rotora otáčkam magnetického poľa statora klesajú indukované prúdy a intenzita nimi vytváraného poľa. Klesajú tým i otáčky rotora a zároveň točivý moment motora. Pokiaľ je motor aspoň minimálne zaťažný, nikdy nedosiahne otáčky dané frekvenciou napájacieho napätia. Nikdy s nimi nebude synchronný, z toho dôvodu aj názov tohto motora *asynchrónny motor*. Tento druh motora je v praxi najbežnejší [17].

Na riadenie napájania asynchrónnych motorov sa používali softstartéry. S nástupom polovodičových spínacích prvkov (tyristory, IGBT tranzistory) vo výkonovej elektronike ich začali postupne nahrádzať frekvenčné meniče. V súčasnosti vďaka priaznivej cene ich takmer úplne nahradili. Usmernené vstupné striedavé napájanie frekvenčného meniča formujeme v striedači a vytvárame trojfázovú sústavu s plnohodnotným sínusovým signálom s premenlivou frekvenciou a efektívnou hodnotou napätia. Používajú sa dva spôsoby riadenia, skalárne riadenie a vektorové riadenie. Pri skalárnom riadení sa udržiava konštantný pomer efektívnej hodnoty výstupného napätia voči frekvencii tak, aby bol udržiavaný konštantný magnetický tok motora. Výhodou tohto spôsobu riadenia je jeho jednoduchosť a nevýhodou zas nemožnosť dosiahnuť špičkové dynamické

parametre pohonu. Modernejším a náročnejším spôsobom riadenia je vektorové riadenie, kde v závislosti na výstupnej frekvencii a ďalších vnútorných premenných motora sa riadi okrem veľkosti i poloha (fáza) výstupných striedavých veličín meniča. Na presnú kontrolu rýchlosti sa pripája do spätnej väzby enkóder, ktorý počíta počet pulzov a na základe týchto pulzov menič vyhodnocuje aktuálnu rýchlosť motora.

Zapojenie motora

Motor sa zapája buď do hviezdy alebo do trojuholníka. V minulosti sa týmto spôsobom riadil rozbeh motora, hlavne pri ťažkých (náročných) rozbehoch. Používal sa prepínač hviezda - trojuholník, kde pri rozbehu bol motor v zapojení hviezda a po dosiahnutí nominálnych otáčok sa prepol do trojuholníka. Znižoval sa tým záberový prúd, ale aj výkon motora asi o jednu tretinu. V súčasnosti riadi rozbeh frekvenčný menič. Motor sa potom zapája do hviezdy alebo trojuholníka podľa veľkosti napájacieho napätia (3x400VAC alebo 1x230VAC) a podľa vnútorného zapojenia motora zobrazeného na štítku motora. Na obrázku 3.14 a 3.15 je znázornené toto zapojenie. Smer otáčania sa mení zmenou smeru otáčania točivého poľa, čiže zámenou napájania na dvoch svorkách motora.



Obr. 3.14 zapojenie do hviezdy Obr. 3.15 zapojenie do trojuholníka

Rýchlosť otáčania motora závisí od frekvencie a počtu pólov motora. Určuje ho nasledujúci vzťah pre výpočet synchronných otáčok.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

n_s - synchronné otáčky motora

f - frekvencia

p - počet pólových dvojíc

Z nasledujúceho vzorca vyplýva, že maximálna rýchlosť asynchronného motora môže byť 3000ot/min pri frekvencii 50Hz.

Z dôvodu, že sa jedná o asynchronný motor musíme ešte do tohto vzorca započítať sklz motora.

$$n = n_s (1 - s)$$

n - skutočné otáčky

s - sklz motora

Výsledný vzťah pre výpočet skutočných otáčok bude.

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s)$$

Uvediem príklad: Asynchrónny motor s nominálnym výkonom $P_N = 7,5\text{kW}$, počet pólov $2p=4$, nominálny sklz $s_N = 6\%$, nominálne napätie $U_N = 400\text{V}$, frekvencia $f = 50\text{Hz}$.

$$n = \frac{60 \cdot 50}{2} \cdot (1 - 0.06) = 1410 \text{ ot / min}$$

Z tohto vzorca vyplýva, že máme tri možnosti ako riadiť otáčky asynchrónneho motora. Zmenou frekvencie, zmenou počtu pólov a zmenou sklzu motora. Zmena počtu pólov je využívaná u asynchrónnych motorov používaných napríklad v automatických práčkach. Zmena sklzu je možná len u krúžkových motorov zapojením rezistora do obvodu rotora. Najpoužívanejšou voľbou je zmena rýchlosti zmenou frekvencie, ktorá sa používa pri riadení motora frekvenčným meničom.

Spoločnosť Omron ponúka možnosť riadenia striedavých asynchrónnych motorov s kotvou nakrátko (obr. 3.16) až do výkonu 300 kW pomocou frekvenčných meničov typového radu J7, V1000, E7, F7 a G7. Ponúkajú možnosť tak skalárneho riadenia ako i vektorového s otvorenou alebo uzavretou (pripojený enkóder) spätno-väzobnou slučkou. Enkóder je možné pripojiť len ku rade frekvenčných meničov F7 a G7 [12],[13],[6].



Obr. 3.16 Asynchrónny motor

3.2.2 Frekvenčný menič Omron J7

Tento frekvenčný menič rady J7 je určený pre všeobecné použitie na riadenie striedavých asynchrónnych motorov. Umožňuje skalárne riadenie motorov s výkonom od 100W až po 4kW pri napájacom napätí 1x230VAC alebo 3x400VAC. V tomto skalárnom režime je žiadanou hodnotou výstupná frekvencia 0 - 50Hz. Výstupné napätie aplikované na motor je závislé na výstupnej frekvencii a je dané pomerom napätia a frekvencie U/f [6].



Obr. 3.17 Frekvenčný menič Omron J7

Typ použitých frekvenčných meničov		CIMR-J7AZB0P40
Napájacie napätie		1x230VAC
Výkon		0,55kW
Integrované vstupy/výstupy	vstupy	5 binárnych vstupov
		PNP alebo NPN tranzistory (pripínateľné)
		1 analógový vstup
	výstupy	1 reléový pripínateľný výstup
		1 pulzný výstup
Výstupná frekvencia		0,1 až 400Hz
Zadávanie frekvencie		napätím (0-10V), prúdom (4-20mA/0-20mA), cez digitálne vstupy
Referenčnej frekvencie		8 predvolieb vyberateľných digitálnymi vstupmi
V/f krivky		zadávanie v troch bodoch
Spôsob ovládania		programovacia konzola so zabudovaným potenciometrom
Rozbeh/dobeh		rozbehová a dobehová krivka
Spôsob riadenia		výstupný prúd riadený šírko impulznou moduláciou tranzistormi IGBT so vzorkovacou frekvenciou 10kHz
Moment		150% moment pri 3Hz

Tab. 3.10 Parametre použitých frekvenčných meničov

Funkcia meniča a parametre

Frekvenčný menič J7 slúži na riadenie motora. Túto funkciu vykonáva vďaka zabudovaným parametrom. Parametre sú programovateľné prostriedky, ktorými sa riadia a monitorujú prevádzkové stavy systému. Každý parameter je výrobcom nastavený na určitú hodnotu, tzv. východiskové nastavenie. Základné nastavenie umožňuje vo väčšine jednoduchých aplikácií požadovanú reguláciu motora s minimálnou nutnosťou meniť hodnoty parametrov.

Menič sa teda správa podľa nastavených hodnôt parametrov. Nesprávne nastavenie parametrov môže spôsobiť poškodenie zariadenia, preto je potrebné pri akejkoľvek zmene hodnôt parametrov dbať na možné následky tejto zmeny.

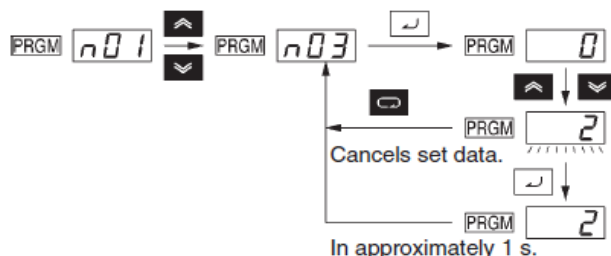
Každý parameter má svoje označenie a to v poradí n 01 až n 67. Význam a rozsah možného nastavenia parametrov si môžeme prečítať v používateľskej príručke, ktorá je súčasťou balenia každého frekvenčného meniča. Pomocou integrovaného panelu je možné okrem kontroly aktuálneho stavu FM aj tieto parametre meniť.

Nastavenie parametrov meniča

Opakovane stláčam klávesu MODE, až sa rozsvieti indikátor PRGM. Použijem klávesu šípka hore/šípka dole pre nastavenie čísla parametra. Stlačením klávesy ENTER sa zobrazí hodnota vybraného parametra. Použijem klávesu šípka hore/šípka dole pre nastavenie požadovanej hodnoty. Displej bude blikať. Stlačením klávesy ENTER potvrdím a uloží hodnotu parametra a displej bude svietiť trvale. Zobrazí sa číslo parametra [6].

Na obrázku č.3.18 je názorná ukážka zmeny hodnoty parametrov v programovom móde meniča.

Example of Paramter Settings



Key sequence	Indicator	Display example	Explanation
	FREF	00	Power ON
[Mode Key]	PRGM	n01	Press the Mode Key repeatedly until the PRGM indicator is lit.
[Up] [Down]	PRGM	n03	Use the Increment or Decrement Key to set the parameter number.
[Enter]	PRGM	0	Press the Enter Key. The data of the selected parameter number will be displayed.
[Up] [Down]	PRGM	2 (flashing)	Use the Increment or Decrement Key to set the data. At that time the display will flash.
[Enter]	PRGM	2	Press the Enter Key so that the set value will be entered and the data display will be lit. (see note 1)
In approximately 1 s.	PRGM	n03	The parameter number will be displayed.

Obr. 3.18 Príklad zmeny parametra [6]

3.2.3 Technické parametre pohonov manipulátora

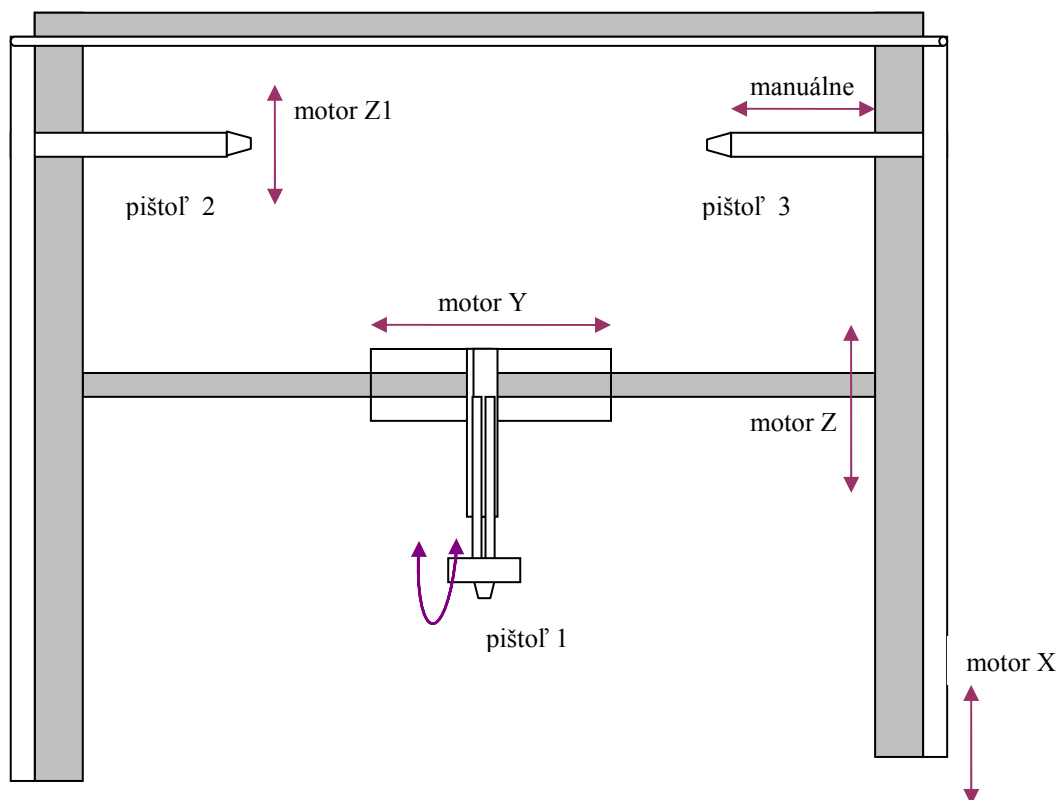
V nasledujúcej tabuľke sú vypísané a vypočítané parametre jednotlivých použitých motorov, prevodoviek a frekvenčných meničov pre jednotlivé osi manipulátora.

Parametre	Pohon X os	Pohon Z os	Pohon Z1 os	Pohon Y os
Výrobca	Lenze	Lenze	Lenze	Lenze
Výkon motora [kW]	0,37	0,55	0,12	0,12
Výkon frekvenčného meniča [kW]	0,55	0,55	0,55	0,55
Prevodovka [i]	24,933	17,5	24,933	24,933
Otáčky motora [ot/min]	1425	1425	1425	1425
Otáčky prevodovky [ot/min]	57,2	81,4	57,2	57,2
Priemer ozubené koleso z1 [mm]	56,37	69,11	69,11	69,11
Priemer ozubené koleso z2 [mm]	56,37	125,54	69,11	69,11
Otáčky posunu [ot/min]	57,2	44,8	57,2	57,2

Tab. 3.11 Parametre motorov a prevodoviek

3.3 Riadenie pohybu manipulátora

Úlohou riadiaceho systému CP1H bolo zabezpečiť nastriekanie všetkých strán kontajnera. Čiže prednej, zadnej, bočných a vrchnej strany. Samozrejmosťou bola aj možnosť vypnutia striekania zvolenej strany. Bolo potrebné motorické ovládanie pohybu manipulátora v ose X (dopredu - dozadu), nosníka v ose Z (hore-dole), striekacích pištolí (ľavej a pravej) v ose Z1 (hore - dole) a striekacej pištole umiestnenej na nosníku v ose Y (vľavo - vpravo). Presun týchto jednotlivých osí bol realizovaný pomocou striedavých asynchrónnych motorov Lenze a frekvenčných meničov rady J7 Omron, ktoré boli v Z a Z1 ose doplnené o pneumatické brzdy. Striekaciu pištoľ umiestnenú na nosníku bolo potrebné ešte dodatočne natáčať a to v závislosti od striekania prednej, zadnej alebo vrchnej strany kontajnera. Jednotlivé pohybujúce sa osi sú zobrazené na obr. 3.19.



Obr. 3.19 Pohyb osami manipulátora

3.3.1 Riadenie pohybu manipulátora osi X

Pohyb celého manipulátora je zabezpečovaný pomocou striedavého asynchrónneho motora riadeného frekvenčným meničom. Hnacia sila motora je vedená cez prevodovku na ozubené koleso, ktoré poháňa reťaz a následne konštrukciu manipulátora.

Manipulátor sa pohybuje po koľajnicovom vedení upevnenom v podlahe po celej dráhe pohybu manipulátora. Plynulý rozbeh a brzdenie je zabezpečený prostredníctvom nastavenia rozbehových a dobehových rámp na frekvenčnom meniči. Aktuálna poloha manipulátora je vypočítavaná na základe impulzov z indukčného snímača umiestnenom na ozubenom kolese.

Na oboch krajných stranách koľajnicového vedenia, po ktorom sa pohybuje manipulátor sú umiestnené bezpečnostné koncové spínače, ktoré definuje krajnú polohu pohybu. V prípade, že sa manipulátor dostane do krajnej polohy, je možné ho vrátiť naspäť len pomocou ručného diaľkového ovládania.

Elektrické vodiče a vzduchové hadice sú vedené v pohyblivej reťazi umiestnenej v žľabe pozdĺž lineárneho pohybu manipulátora.

3.3.2 Riadenie pohybu nosníka osi Z

Pohyb nosníka manipulátora je zabezpečovaný pomocou striedavého asynchrónneho motora riadeného frekvenčným meničom. Hnacia sila motora je vedená cez prevodovku

na ozubené koleso, ktoré poháňa reťaz a následne valčeky ktoré sa pohybujú po konštrukciu manipulátora. Aktuálna poloha nosníka je vypočítavaná na základe impulzov z indukčného snímača umiestnenom vedľa ozubeného kolesa.

Na druhej strane motora nosníka je 25 kg závažie, ktoré uľahčuje pohyb elektrickému motoru. Motor je doplnený o pneumatickú brzdu umiestnenú medzi výstupom motora a pohybujúcou sa jednotkou. Brzda zabezpečuje udržanie nosníka v dosiahnutej polohe.

Na oboch krajných stranách nosníkového pohybu sú umiestnené bezpečnostné koncové spínače, ktoré definuje krajnú polohu pohybu. V prípade, že sa manipulátor dostane do krajnej polohy, je ho možné vrátiť naspäť len pomocou ručného diaľkového ovládania.

3.3.3 Riadenie pohybu striekacích pištolí

Na manipulátore sú umiestnené 3 striekacie pištole od firmy Graco. *Krajné striekacie pištole* sú určené na striekanie bočných strán kontajnera a pohybujeme s nimi súčasne v osi Z1 v smere hore a dole. Automatický posun týchto pištolí v osi Y nebol požadovaný. Čiže je nutné pri striekaní inej šírky kontajnera manuálne nastaviť vzdialenosť striekacej pištole od kontajnera.

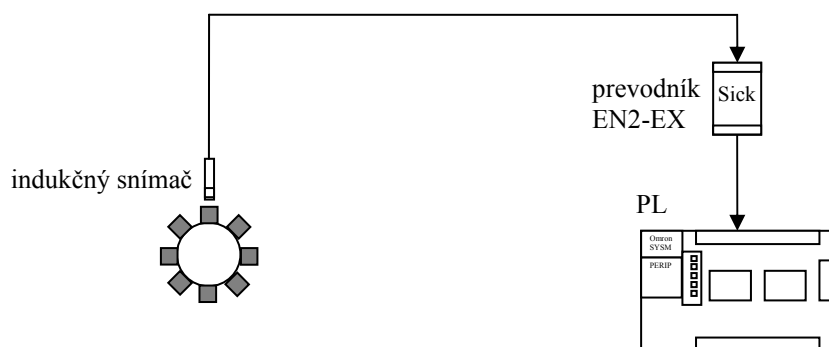
Striekacou pištoľou umiestnenou na nosníku pohybujeme motoricky v osi Y v smere doľava a doprava a pneumaticky ňou natáčame v závislosti na striekaní prednej, zadnej alebo vrchnej strany kontajnera. Na natáčanie slúži dvojica pneumatických piestov. Pohyb v smere nadol a nahor zabezpečujeme pomocou pohybu nosníka v ose Z.

Zapínanie a vypínanie striekania zabezpečuje program vykonávaný v riadiacom systéme na základe rozmeru kontajnera a aktuálnej polohy v ktorej sa jednotlivé pištoly nachádzajú.

3.3.4 Výpočet aktuálnej polohy

Jednou z najčastejších možností ako kontrolovať polohu rotačného alebo lineárneho pohybu zariadenia je použitie enkóderov. Enkóder sa pripojí na ozubenú tyč, šnek alebo je súčasťou el. motora. Je to elektromechanický prevodník, ktorý prevádza rotačný pohyb na sekvenciu elektrických digitálnych pulzov. Tieto vygenerované pulzy je možné spracovávať v PLC a na ich základe určiť aktuálnu polohu, smer alebo rýchlosť pohybujúceho sa zariadenia.

V lakovni sme však nemohli použiť enkóдеры, z dôvodu potrebného ex certifikátu do výbušného prostredia. Preto sa na kontrolu polohy použili certifikované indukčné snímače do výbušného prostredia od firmy Sick, doplnené o prevodníky napäťovej úrovne signálu s označením EN2-EX [15]. Následne signál z prevodníka bol pripojený do PLC, kde sa vypočítala aktuálna poloha.



Obr. 3.20 Schéma zapojenia indukčných snímačov

Na kontrolu polohy jednotlivých os manipulátora bolo nutné urobiť jednoduchý výpočet. Vypočítať obvod poháňaného kolesa a podeliť ho počtom snímaných zubov na ozubenom kolese. Na základe týchto údajov sme vypočítali presnosť s akou sme schopní polohovať jednotlivé osi manipulátora a hodnotu lineárneho posunu osi manipulátora pri príchode 1 pulzu z indukčného snímača. Vypočítané hodnoty sú zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

Parametre	Pohon X os	Pohon Z os	Pohon Z1 os	Pohon Y os
Priemer ozubeného kolesa [mm]	56,37	125,54	69,11	69,11
Obvod kolesa [mm]	177	394,2	217,01	217,01
Počet zubov	16	32	32	16
Posun [mm/zub]	11,06	12,32	6,78	13,56

Tab. 3.12 Prepočet pulzov na lineárnu polohu

3.3.5 Zoznam vstupno-výstupných signálov

Zoznam vstupno-výstupných signálov pripojených k PLC ukazuje tabuľka 3.13 a 3.14.

Názov	Adresa	Komentár
PulzY	0.00	Pulzy Y indukčný snímač
PulzX	0.01	Pulzy X indukčný snímač
PulzZ	0.02	Pulzy Z indukčný snímač
PulzZ1	0.03	Pulzy Z1 indukčný snímač
KonX	0.04	Koncový spínač X koncová poloha
DoleZ	0.05	Koncový spínač Z dole
ZacX	0.06	Koncový spínač X začiatočná poloha
HoreZ	0.07	Koncový spínač Z hore
PorX	0.08	Motor X porucha
PorZ1	0.09	Motor Z1 porucha
PorZ	0.10	Motor Z porucha
DoleZ1	0.11	Koncový spínač Z1 dole
HoreZ1	1.00	Koncový spínač Z1 hore
PorY	1.01	Motor Y porucha
ZacY	1.02	Koncový spínač Y začiatočná poloha
KonY	1.03	Koncový spínač Y koncová poloha
Ven_dole	1.04	Snímač polohy piestu EV5 dole
Ven_hore	1.05	Snímač polohy piestu EV5 hore
Ven_dole	1.06	Snímač polohy piestu EV4 dole
Ven_hore	1.07	Snímač polohy piestu EV4 hore
Vzduch	1.08	Tlak vzduchu
Ruc_ovlEV1	2.00	Tlačítko ručného ovládania 1 otvorenia pištole EV1
Ruc_ovlEV2	2.01	Tlačítko ručného ovládania 2 otvorenia pištole EV2
Ruc_ovlEV3	2.02	Tlačítko ručného ovládania 3 otvorenia pištole EV3
Ruc_ovl_Z1	2.03	Tlačítko ručného ovládania 4 nosníka Z1
Ruc_ovl_pis	2.04	Tlačítko ručného ovládania 5 vzduchu do pištole
Ruc_ovl_smer	2.05	Tlačítko ručného ovládania 6 smer
Tl_manual	2.06	Tlačítko manuálny režim
Tl_auto	2.07	Tlačítko automatický režim
Tlac_start	2.08	Tlačítko štart lakovania
Tlac_stop	2.09	Tlačítko stop lakovania

Tab. 3.13 Vstupné signály do PLC

Názov	Adresa	Komentár
Chod_XRW	100.00	Motor X dozadu
Chod_XFW	100.01	Motor X dopredu
Rychlo_X	100.02	Motor X rýchlo
Chod_ZDN	100.03	Motor Z dole
Chod_ZUP	100.04	Motor Z hore
Rychlo_Z	100.05	Motor Z rýchlo
Brzda_Z	100.06	Motor Z brzda
Chod_Z1DN	100.07	Motor Z1 dole
Chod_Z1UP	101.00	Motor Z1 hore
Rychlo_Z1	101.01	Motor Z1 rýchlo
Brzda_Z1	101.02	Motor Z1 brzda
Chod_YFW	101.03	Motor Y dopredu
Chod_YRW	101.04	Motor Y dozadu
Rychlo_Y	101.05	Motor Y rýchlo
Nat_EV4	101.06	Pistoľ natoč zadok EV4
Nat_EV5	101.07	Pistoľ natoč predok EV5
Otv_EV1	102.00	Otvor pistol' rameno EV1
Otv_EV2	102.01	Otvor pistol' nosnik EV2
Otv_EV3	102.02	Otvor pistol' rameno EV3
Nap_OK	102.06	Napätie 24V OK
Vzduch_privod	102.07	Centrálly prívod vzduchu
Maj1	103.00	Maják1
Maj2	103.01	Maják2
Maj3	103.02	Maják3
Huk	103.03	Húkačka

Tab. 3.14 Výstupné signály z PLC

3.4 Riadenie vetrania haly

Riadiaci systém CP1L zabezpečuje riadenie tlakového vetrania lakovne pomocou 8 ventilátorov. Motory ventilátorov sú spúšťané zopnutím el. stykačov, čiže nie je možné regulovať otáčky jednotlivých motorov. V programe je blokácia spustenia ventilátorov, pokiaľ nie je signál o otvorení klapiek potrubia. Klapky jednotlivých prírodných a odvodných potrubí sa ovládajú pomocou manuálnej páky. Okrem riadenia prevetrávania riadiaci systém vetrania riadi aj osvetlenie haly lakovne, núdzové svetlo, kontrolu tlakových spínačov a núdzové stop tlačítka.

3.4.1 Technické parametre pohonov

Nasledujúca tabuľka obsahuje typ použitej prúdovej ochrany a stykačov Omron. Taktiež sú tam uvedené základné parametre motorov a to výkon, prúd a otáčky. Všetkých osem motorov je identických a sú od firmy Siemens.

Parametre	Pohon ventilátorov
Typ prúdovej ochrana	J7MN-3R
Typ stykača	J7KN-10-10
Výkon motora [kW]	3,6
Prúd motora [A]	7,5
Otáčky motora [ot/min]	1435

Tab. 3.15 Parametre motorov a prevodoviek

3.4.2 Zoznam vstupno-výstupných signálov

Zoznam vstupno-výstupných signálov pripojených k PLC ukazuje tabuľka 3.16 a 3.17.

Názov	Adresa	Komentár
IN klapka_hore	0.00	klapka hore
IN dvere	0.01	koncový spínač dverí
IN tlak_spinac	0.02	tlakový spínač
IN_vent1	0.03	stykač ventilátor 1
IN_vent2	0.04	stykač ventilátor 2
IN_vent3	0.05	stykač ventilátor 3
IN_vent4	0.06	stykač ventilátor 4
IN_vent5	0.07	stykač ventilátor 5
IN_vent6	0.08	stykač ventilátor 6
IN_vent7	0.09	stykač ventilátor 7
IN_vent8	0.10	stykač ventilátor 8
IN klapka_dole	0.11	klapka dole
IN_svetlo1	1.00	stykač svetlo 1
IN_svetlo2	1.01	stykač svetlo 2
IN_nudz_svetlo	1.02	stykač núdzové svetlo
IN_horak	1.03	kontrola horáka
IN_stop	1.04	stop tlačítko
Konc_poz_dv1	2.00	požiarne dvere 1 zatvorené
Konc_poz_dv2	2.01	požiarne dvere 2 zatvorené
Konc_poz_dv3	2.02	požiarne dvere 3 zatvorené
Konc_unik_dv1	2.03	únikové dvere 1 zatvorené
Konc_unik_dv2	2.04	únikové dvere 2 zatvorené

Tab. 3.16 Vstupné signály do pl

Názov	Adresa	Komentár
Chod_v1	100.00	ventilátor 1 koľaj 1
Chod_v2	100.01	ventilátor 2 koľaj 1
Chod_v3	100.02	ventilátor 3 koľaj 1
Chod_v4	100.03	ventilátor 4 koľaj 1
Chod_v5	100.04	ventilátor 5 koľaj 2
Chod_v6	100.05	ventilátor 6 koľaj 2
Chod_v7	100.06	ventilátor 7 koľaj 2
Chod_v8	100.07	ventilátor 8 koľaj 2
Chod_s1	101.00	svetlo 1
Chod_s2	101.01	svetlo 2
Chod_ns	101.02	núdzové svetlo
Reset_stop	101.04	reset stop tlačítka

Tab. 3.17 Výstupné signály z PLC

3.5 Riadenie vykurovania haly

Vykurovanie haly je riadené nezávislým teplotným regulátorom. Riadenie vykurovania haly nebolo cieľom riešenia tejto diplomovej práce.

4 Návrh a realizácia riadiacej aplikácie

4.1 Softvérové nástroje na programovanie

Softvér s označením CX-One umožňuje užívateľom vytvárať, konfigurovať a programovať zariadenia spoločnosti Omron. Je to ucelený programový balík, v ktorom je zakomponovaných niekoľko softvérových nástrojov na programovanie PLC automatov, ovládacích terminálov, systémov pre riadenie pohybu a konfiguráciu sietí Omron. Čiže po zakúpení tejto softvérovej sady programov si vystačíme na takmer všetky Omron zariadenia.

Súčasťou tohto balíka je aj potrebný softvér (CX Programmer, CX Designer), ktorý bol použitý k programovaniu lakovne.

4.1.1 Programovací softvér pre PLC CX Programmer

Pre programovanie všetkých riadiacich systémov PLC spoločnosti Omron je určené jednotné vývojové prostredie CX Programmer. Toto prostredie umožňuje programovať tak najnižšiu radu mikro PLC až po systémy najvyššej rady s označením CS. Umožňuje to jednoduchý prechod a opätovné použitie programových kódov medzi rôznymi typmi PLC.

V tomto prostredí sa najviac používa princíp programovania v reléovej schéme. Inštrukcie sú reprezentované grafickými objektami, ktoré sa skladajú do tzv. reléovej schémy. Skupina inštrukcií vytvára celý aplikačný program automatu. Okrem programovania v reléovej schéme je možné použiť programovanie v štruktúrovanom texte (jazyk pascal) alebo SFC jazyku, čo je jazyk vývojových diagramov. Nie všetky rady PLC však podporujú použitie všetkých troch programovacích jazykov.

4.1.2 Programová štruktúra PLC Omron

Projekt daného riadiaceho systému je členený na jednotlivé úlohy, ktoré sa vykonávajú buď cyklicky alebo na základe softvérového, hardvérového alebo časového prerušenia. Čiže programová štruktúra PLC automatov Omron je viacúlohová a definuje tzv. cyklické a prerušovacie úlohy.

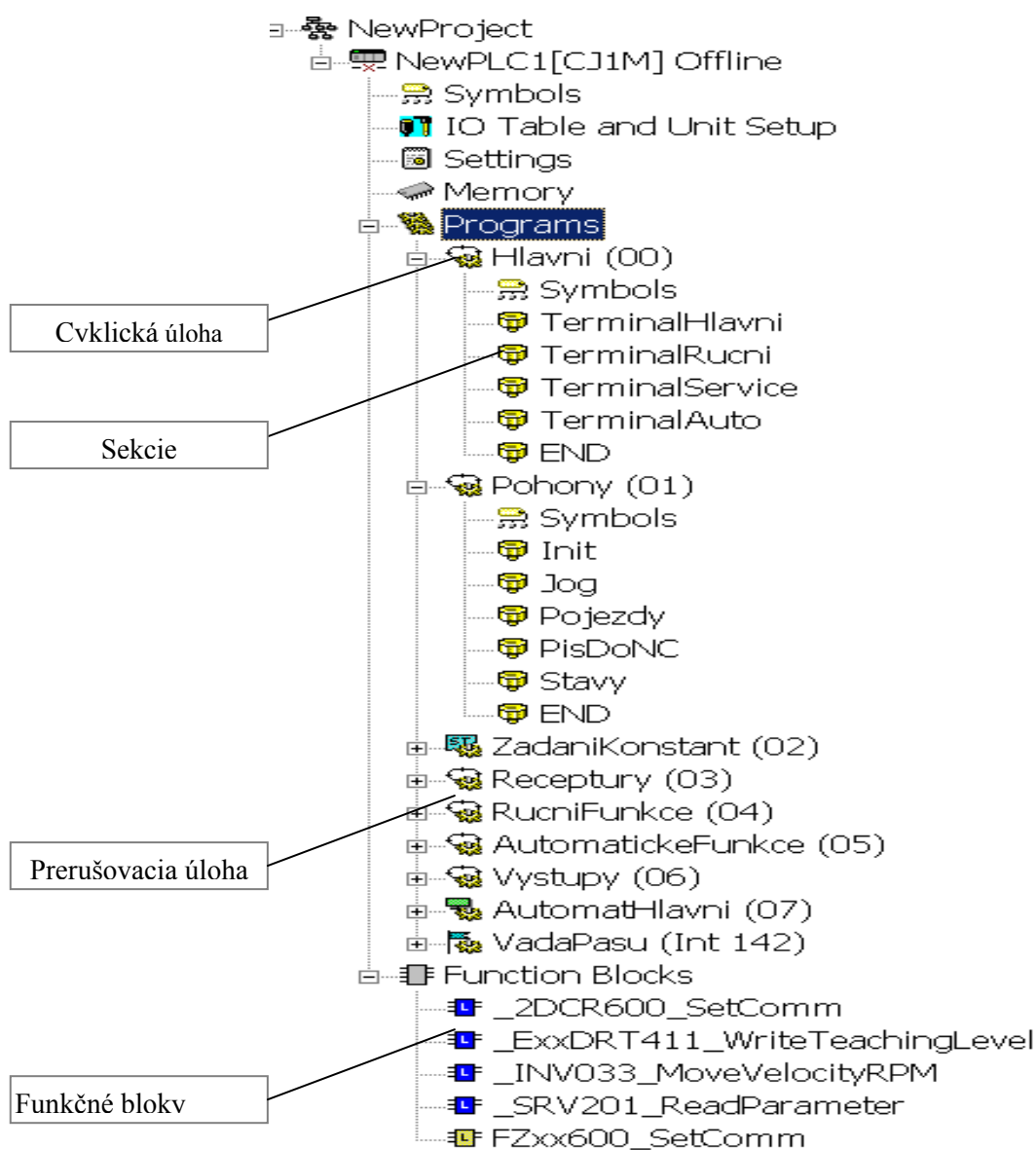
Cyklické úlohy s poradovým číslom 0 až 31, sa vykonávajú postupne od aktívnej úlohy s najnižším číslom až po aktívnu úlohu s najvyšším číslom. Pomocou programovej inštrukcie je možné prepínať cyklickú úlohu do stavu aktívneho alebo neaktívneho, čiže do stavu vykonávania alebo pozastavenia vykonávania danej sekcie a jej programového kódu. Po vykonaní poslednej inštrukcie poslednej aktívnej úlohy sa vykoná načítanie stavu vstupov a výstupov a znovu sa začnú vykonávať cyklické úlohy v už spomínanom poradí od začiatku. Doba trvania jedného priechodu cyklických úloh je závislá od veľkosti jednotlivých programov a trvá rádovo niekoľko ms a tento čas sa nazýva programový cyklus PLC.

Prerušovacie úlohy s poradovým číslom 0 až 255, sa spúšťajú na základe podnetu z príslušného zdroja prerušenia. Zdrojom prerušenia sú prerušovacie vstupy, rýchle čítače a vnútorné časovače. V okamžiku vyvolania prerušenia sa vykonávanie cyklu programu v CPU jednotke pozastaví a vykoná sa daná prerušovacia úloha. To zabezpečí vykonanie programového kódu prerušenia v danom reálnom čase, bez ohľadu na to, v akej časti programového cyklu sa PLC aktuálne nachádza. Po jej vykonaní sa programový cyklus PLC začne vykonávať zo začiatkom v mieste inštrukcie, kde bol prerušený.

Jednotlivé úlohy (cyklické, prerušovacie) sa skladajú z niekoľkých častí tzv. *sekcii* s poradovým číslom 1 až 255. Delenie programu do sekcií je hlavne z dôvodu prehľadnosti a čitateľnosti celého programu. Preto je veľmi dôležité každú sekciu pomenovať vhodným názvom vyjadrujúcim funkciu vykonávaného zdrojového kódu vo vnútri danej sekcie. V jednotlivých sekciách sa program vykonáva postupne zľava doprava a smerom dole, sekcia po sekciu až po poslednú sekciu s označením END.

Z vnútra programu jednotlivých sekcií je možné volať tzv. *funkčné bloky*, ktoré predstavujú dopredu naprogramované funkcie, ktoré nemusia byť vytvorené samotným programátorom, ale môžu byť prevzaté z Omron knižnice funkčných blokov, prípadne vymieňané medzi programátormi. To umožňuje programátorovi úsporu času pri tvorbe programu s využitým už dopredu naprogramovaným zdrojovým kódom [4].

Na nasledujúcom obrázku je ukázaná možná programová štruktúra programu.



Obr. 4.1 Členenie projektu Omron

4.1.3 Adresácia dát

Všetky dátové oblasti PLC OMRON sú 16 bitové. Základnou informačnou jednotkou je bit pričom sa bity združujú do slov (16 bitov). Bit je základná jednotka a môže nadobúdať hodnoty 0 alebo 1. Môže reprezentovať buď interný bit alebo byť priamo naviazaná na skutočné vstupy, výstupy PLC. Slovo je skupina 16 bitov a je to základná dátová premenná pre prevádzanie výpočtov a prenosu dát. Môže taktiež reprezentovať buď dátovú premennú alebo byť priamo naviazaná na skutočné vstupy a výstupy PLC (1 slovo = 16 vstupov alebo výstupov).

Každé PLC má niekoľko adresných priestorov, z nich každý má špecifické vlastnosti. K niektorým typom pamäte je možné pristupovať po bitoch i slovách, k ďalším typom len po slovách [4].

Označenie	Typ prístupu	Použitie
CIO	bity/slová	Priestor, v ktorom sú alokované vstupné a výstupné signály a taktiež pracovné bity
SR	bity/slová	Súčasť CIO priestoru, označenie pre bity, ktorých význam je dopredu obsadený perifériou PLC alebo systémom
H	bity/slová	Interný bitový dátový priestor, ktorý po vypnutí napájania pamätá posledný stav
W	bity/slová	Bitový priestor pre univerzálne použitie. Pracovné bity
D	slová	Dátový priestor prístupný len po slovách pre univerzálne použitie
T	bity	Bity s indikáciou stavu časovačov
C	bity	Bity s indikáciou stavu čítačov
A	bity/slová	Interné systémové bity pre konfiguráciu PLC

Tab. 4.1 Adresný priestor PLC

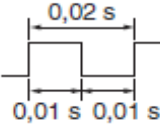
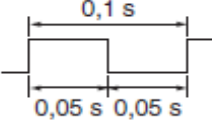
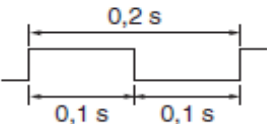
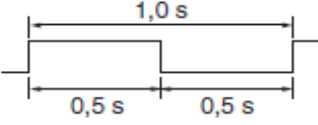
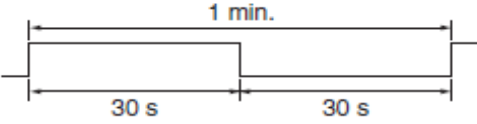
4.1.4 Systémové premenné

Príznaky podmienok sú systémové premenné, ktoré sa používajú v programe k tomu, aby vyjadrovali výsledky spracovania behom alebo po vykonaní inštrukcie. To, či sa príznak použije alebo nie, závisí na programátorovi [4]. Príznaky použité v Omron PLC automatoch sú zobrazené v tabuľke 4.2

Název	Návěští	V CX-P	Funkce
Příznak chyby	ER	P_ER	<ul style="list-style-type: none"> • Zapne se, pokud dojde k pokusu o provedení instrukce zpracovávající binárně kódovaná data s neodpovídajícími daty. • Zapne se, pokud je hodnota argumentu zadaná instrukcí neplatná (např. hodnota mimo pracovní oblast).
Příznak chyby při přístupu	AER	P_AER	Zapne se, pokud dojde k pokusu o neoprávněný přístup k oblasti, která není povolena pro přístup.
Příznak přenosu	CY	P_CY	<ul style="list-style-type: none"> • Zapne se, pokud se počet číslíc zvýší nebo sníží v důsledku vykonání aritmetické instrukce. • Instrukce pro datový posun a některé aritmetické instrukce mohou přenos provádět v rámci svého zpracování.
Příznak rovnosti	=	P_EQ	<ul style="list-style-type: none"> • Zapne se, pokud výsledkem porovnání dat bude hodnota „rovno“. • Zapne se, pokud výsledkem výpočtů nebo přenosů bude datová hodnota 0.
Příznak nerovnosti	< >	P_NE	Zapne se, pokud výsledkem srovnání dat bude hodnota „není rovno“.
Příznak „větší než“	>	P_GT	Zapne se, pokud výsledkem srovnání dat bude výraz „data1>data2“.
Příznak „větší nebo rovno“	>=	P_GE	Zapne se, pokud výsledkem srovnání dat bude výraz „data1>=data2“.
Příznak „menší než“	<	P_LT	Zapne se, pokud výsledkem srovnání dat bude výraz „data1<data2“.
Příznak „menší nebo rovno“	<=	P_LE	Zapne se, pokud výsledkem srovnání dat bude výraz „data1<=data2“.
Příznak zápomě hodnoty	N	P_N	Zapne se, pokud výsledkem výpočtů bude hodnota nejvyššího platného bitu 1.
Příznak přetečení	OF	P_OF	Zapne se, pokud dojde k přetečení výsledku výpočtu.
Příznak podtečení	UF	P_UF	Zapne se, pokud dojde k podtečení výsledku výpočtu.
Příznak Vždy sepnuto	SEPNU TO	P_ON	Zůstává trvale zapnut. Používá se jako podmínka pro provedení u instrukcí, které nelze připojit přímo k datové sběrnici.
Příznak „vždy vypnuto“	VYPNU TO	P_OFF	Zůstává trvale vypnut.

Tab. 4.2 Systémové premenné [7]

Hodinové pulzy sú kontakty, ktoré sa zapínajú a vypínajú v pevnom časovom intervale [4]. Nasledujúca tabuľka 4.3 ukazuje hodinové pulzy.

Název	Návěští	V CX-P	Funkce
Hodinový puls 0,02 s	0,02 s	P_0,02 s	
Hodinový puls 0,1 s	0,1 s	P_0,1 s	
Hodinový puls 0,2 s	0,2 s	P_0,2 s	
Hodinový puls 1,0 s	1 s	P_1 s	
Hodinový puls 1 min	1 min.	P_1 min	

Tab. 4.3 Systémové premenné hodinových pulzov [7]

4.1.5 Konštanty

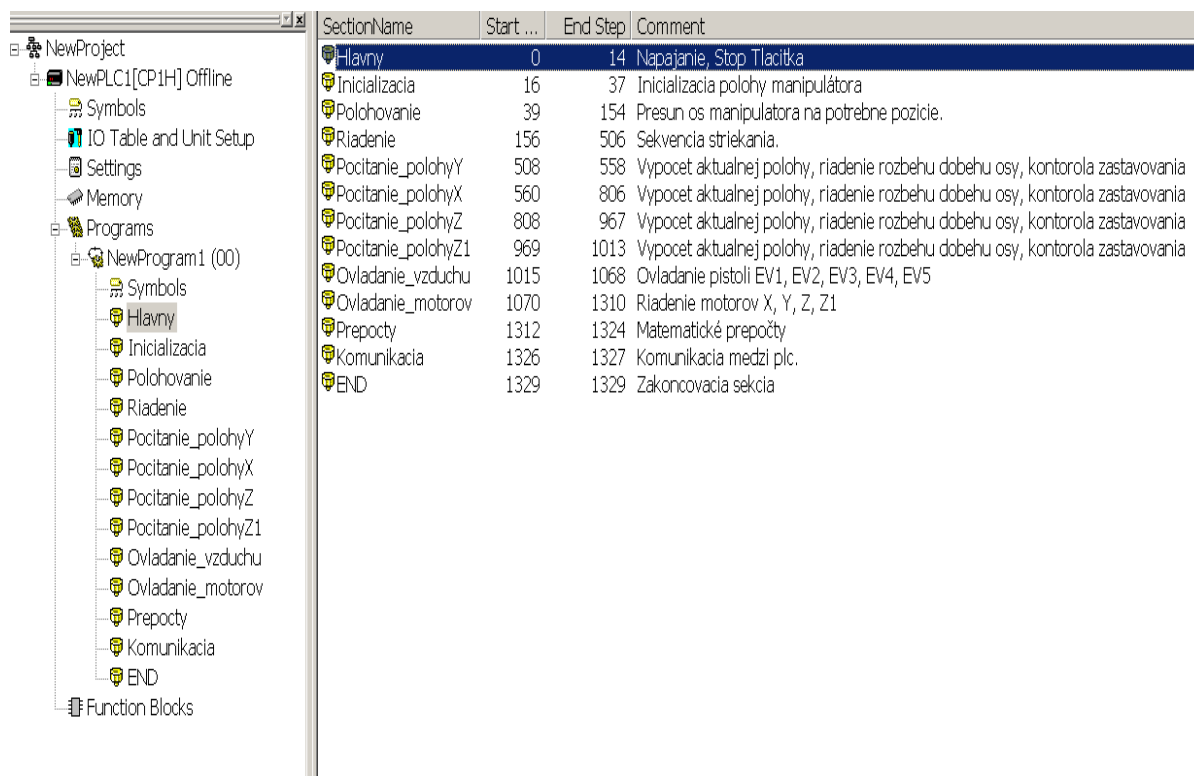
Konštanty používané v inštrukciách PLC sú reprezentované v binárnom, hexadecimálnom alebo decimálnom formáte. Pred hodnotu je nutné zadať prefix (#,&) a danú hodnotu konštanty v danom formáte [4].

Zápis	Obsah/účel
#0000 až 9 999 (binárne kódované desiatkové číslo)	Hodnoty časovače a čítače, aritmetické inštrukcie v binárnom kóde atď.
#0000 až FFFF (hexadecimálne)	Porovnávaná data srovnávacích inštrukcií, prenosová data, binárne aritmetické inštrukcie apod.
&0 až 65 535	Desiatkové číslo bez znamienka (Je k dispozícii len u špeciálnych inštrukcií. Do aplikácie CX-Programmer je možné načítať pomocou prevodu z alebo na hexadecimálne čísla.)

Tab. 4.4 Formát zápisu konštánt [7]

4.2 Štruktúra programu manipulátora

Program je tvorený v programovom prostredí CX Programmer spoločnosti Omron. Štruktúra hlavného programu je delená do trinástich sekcií, v ktorých sa cyklicky vykonávajú jednotlivé programovacie kódy riadenia manipulátora (Obr. 4.2). V nasledujúcich častiach opíšem pomocou vývojových diagramov spôsob funkcie programu.



SectionName	Start ...	End Step	Comment
Hlavný	0	14	Napájanie, Stop Tlačítka
Inicializacia	16	37	Inicializacia polohy manipulátora
Polohovanie	39	154	Presun os manipulátora na potrebné pozície.
Riadenie	156	506	Sekvencia striekania.
Pocitanie_polohyY	508	558	Vypocet aktualnej polohy, riadenie rozbehu dobehu osy, kontrola zastavovania
Pocitanie_polohyX	560	806	Vypocet aktualnej polohy, riadenie rozbehu dobehu osy, kontrola zastavovania
Pocitanie_polohyZ	808	967	Vypocet aktualnej polohy, riadenie rozbehu dobehu osy, kontrola zastavovania
Pocitanie_polohyZ1	969	1013	Vypocet aktualnej polohy, riadenie rozbehu dobehu osy, kontrola zastavovania
Ovladanie_vzduchu	1015	1068	Ovladanie pistoli EV1, EV2, EV3, EV4, EV5
Ovladanie_motorov	1070	1310	Riadenie motorov X, Y, Z, Z1
Prepocty	1312	1324	Matematické prepočty
Komunikacia	1326	1327	Komunikacia medzi plc.
END	1329	1329	Zakoncovacia sekcia

Obr. 4.2 Členenie programu lakovne do sekcií

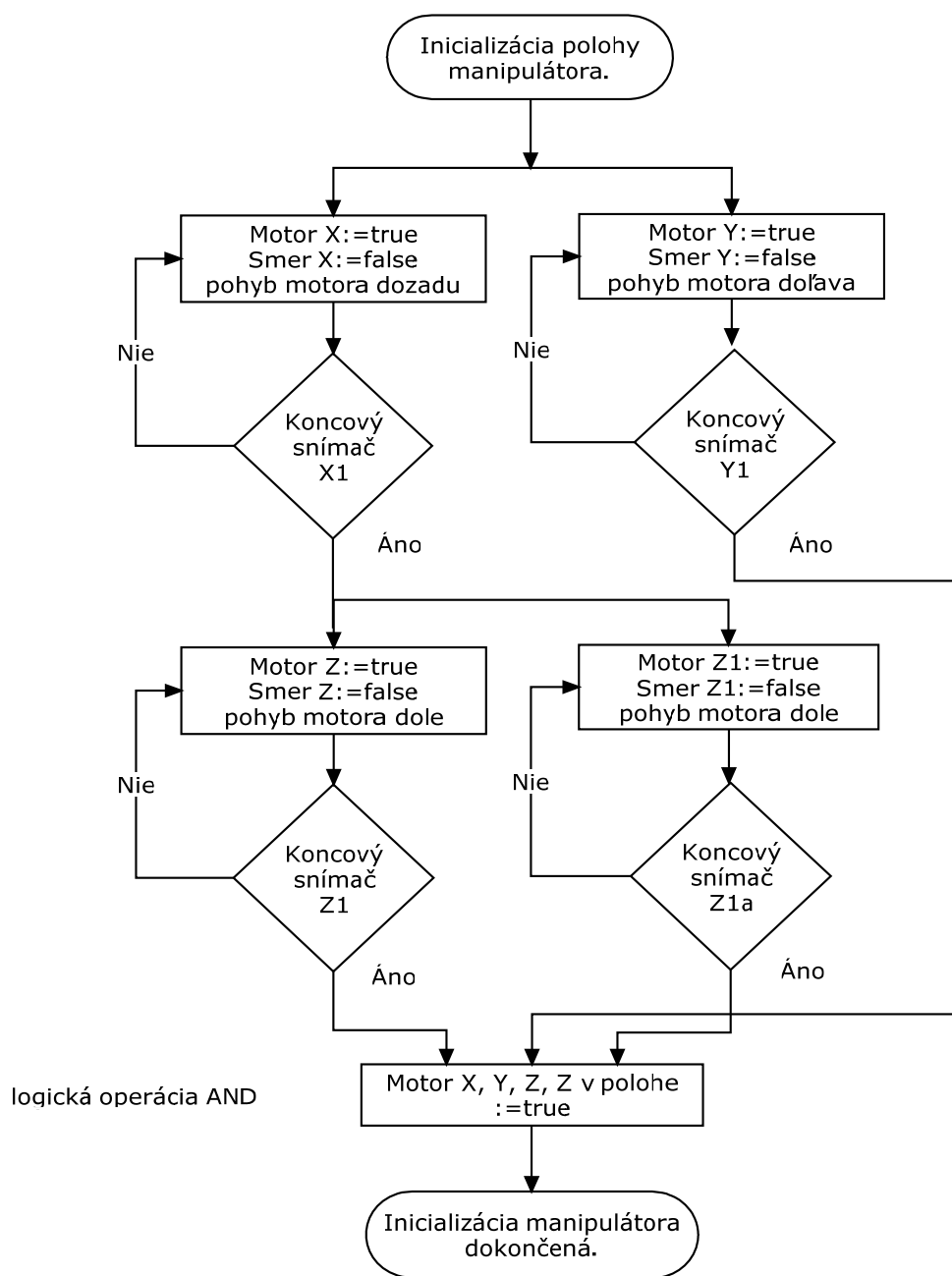
4.2.1 Sekcia hlavný

V tejto sekcii je krátky program na signalizáciu napájania rozvádzača, signalizáciu poruchy manipulátora a signalizáciu stavu lakovania.

4.2.2 Sekcia inicializácia

V tejto sekcii je program na vykonávanie inicializácie manipulátora. Inicializácia manipulátora znamená presunutie X, Z, Y a Z1 osi do východiskovej polohy na ich krajné koncové snímače. Je to presunutie X osi na začiatočnú polohu (smer požiarné dvere 1), Y osi na ľavú krajnú polohu, Z a Z1 osi na spodnú polohu. Na dokončenie priebehu inicializácie je nutné zopnutie všetkých koncových snímačov. Dokončením inicializácie sa vynulujú pamäťové oblasti aktuálnych polôh jednotlivých osí manipulátora a určitý rozsah pracovnej pamäťovej oblasti D a W.

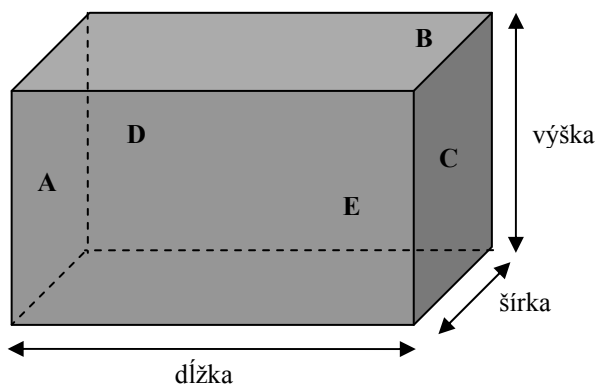
Proces inicializácie sa uskutočňuje len v prípade rozladenia polohy manipulátora, čiže nesúlad skutočnej polohy s vypočítanou polohou. Informácia o priebehu inicializácie je zobrazená na vizualizačnom terminále. Na obrázku č 4.3 je vývojový diagram tohto procesu.



Obr. 4.3 Vývojový diagram procesu inicializácie manipulátora

4.2.3 Sekcia polohovanie

V tejto sekcii je zdrojový kód presúvania sa jednotlivých osí manipulátora na potrebné pozície. Tieto súradnice presunu sú závislé od rozmeru kontajnera a od zvolených strán manipulátora, ktoré je potrebné nastriekať. Nebolo nutné striekať spodnú stranu a vnútornú stranu kontajnera. Toto striekanie sa bude vykonávať manuálne lakovníkom.



Obr. 4.4 Striekané strany kontajnera

Popis strán kontajnera

- strana A – predná strana kontajnera
- strana B – vrchná strana kontajnera
- strana C – zadná strana kontajnera
- strana D – bočná strana kontajnera (vzdialenejšia)
- strana E – bočná strana kontajnera (bližšia)

Dôležitou úlohou bolo presúvanie striekacích pištolí na začiatkové krajné polohy, od ktorých sme začali proces striekania. V prípade navolenia striekania všetkých strán sa manipulátor postupne presunul na nasledujúce polohy:

- strana A – ľavý spodný okraj kontajnera,
- strana B – vrchný okraj kontajnera, ľavý alebo pravý okraj v závislosti od miesta ukončenia sekvencie striekania prednej strany,
- strana D, E – vrchný okraj kontajnera,
- strana C – vrchný okraj kontajnera, ľavý alebo pravý okraj v závislosti od miesta ukončenia sekvencie striekania vrchnej strany.

V prípade navolenia striekania len určitých strán kontajnera sa manipulátor presúval postupne na zvolenú stranu v smere od prednej strany po zadnú stranu kontajnera.

- strana A – ľavý spodný okraj kontajnera,
- strana B – vrchný ľavý okraj kontajnera,
- strana D, E – vrchný okraj kontajnera,
- strana C – vrchný ľavý okraj kontajnera.

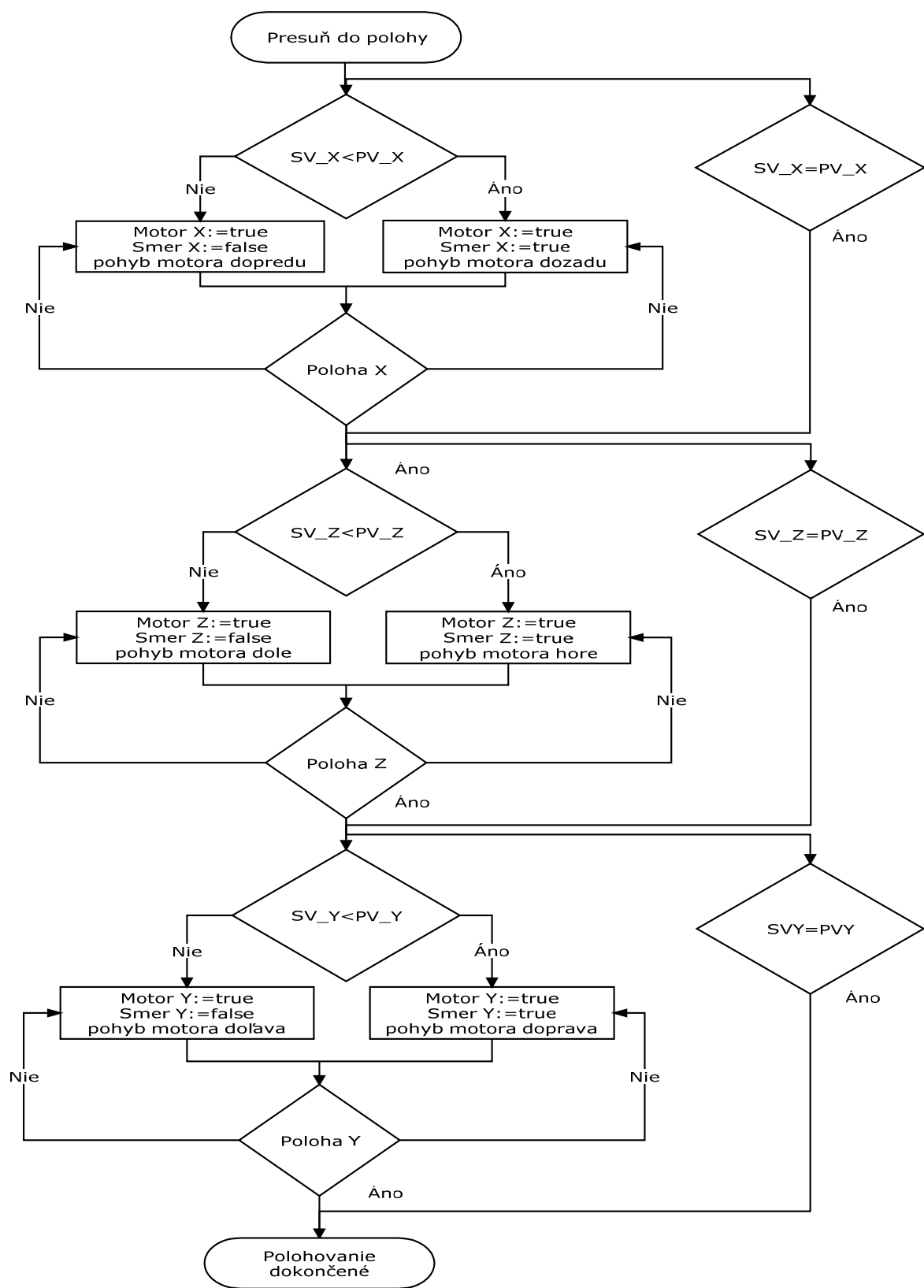
Vývojový diagram presunu manipulátora s požiadavkou na striekanie prednej, vrchnej a zadnej strany je na obrázku 4.5. V tomto diagrame je zobrazená sekvencia postupného presunu X,

Z a Y osi striekacích pištolí, pričom sa porovnáva žiadaná hodnota (SV set value) so skutočnou hodnotou na polohu (PV process value). V prípade rozdielných hodnôt sa spustí pohyb motora danej osi s navolením smeru tak, aby sa pozičná odchýlka žiadanej hodnoty SV a skutočnej hodnoty PV znižovala. V prípade dosiahnutia požadovanej polohy sa pohyb motora zastaví a spustí sa pohyb ďalšej osi.

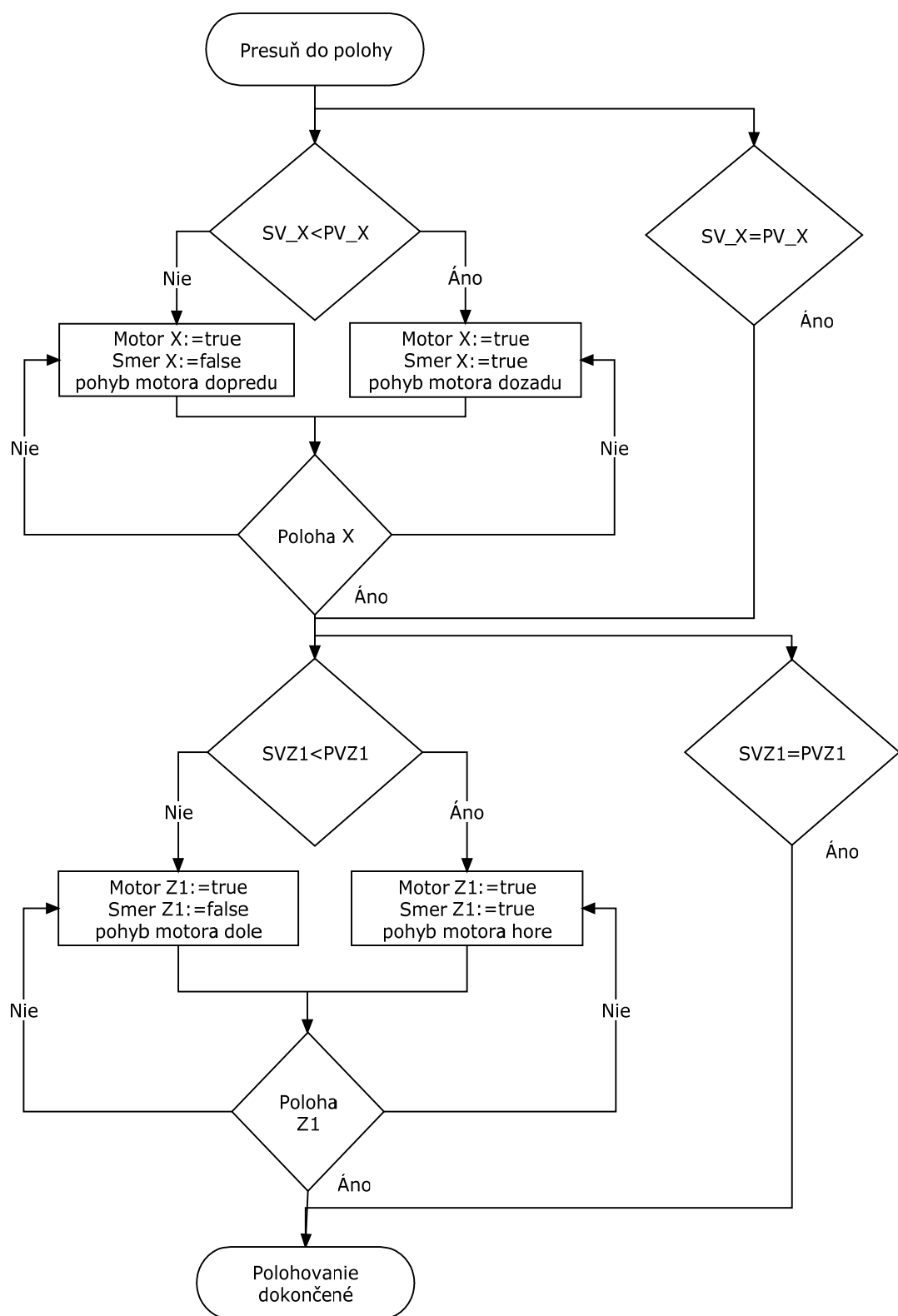
V prípade, že pri požiadavke na presun danej osi manipulátora je pozičná odchýlka nulová, krok spustenia motora a kontroly odchýlky sa preskočí.

Takýmto spôsobom vykonáme postupné sekvencie pozície X, Z a Y osí, pričom ďalšia os sa spustí až po dokončení pozície predchádzajúcej osi.

Vývojový diagram presunu manipulátora na striekanie bočných strán je na obrázku 4.6. V tomto diagrame je zobrazená sekvencia presunu X a Z1 osí, ktoré sú potrebné na presun bočných striekacích pištolí. Postup je identický ako pri presune striekacích pištolí pre bočnú, vrchnú a zadnú stranu manipulátora.



Obr. 4.5 Vývojový diagram procesu presunu pištoľí k prednej, vrchnej a zadnej strane



Obr. 4.6 Vývojový diagram procesu presunu pištoľí ku bočným stranám

4.2.4 Sekcia riadenie

Vždy po procese presunu jednotlivých osí manipulátora na vopred zadané súradnice polohy X, Y a Z nasleduje samotný proces striekania.

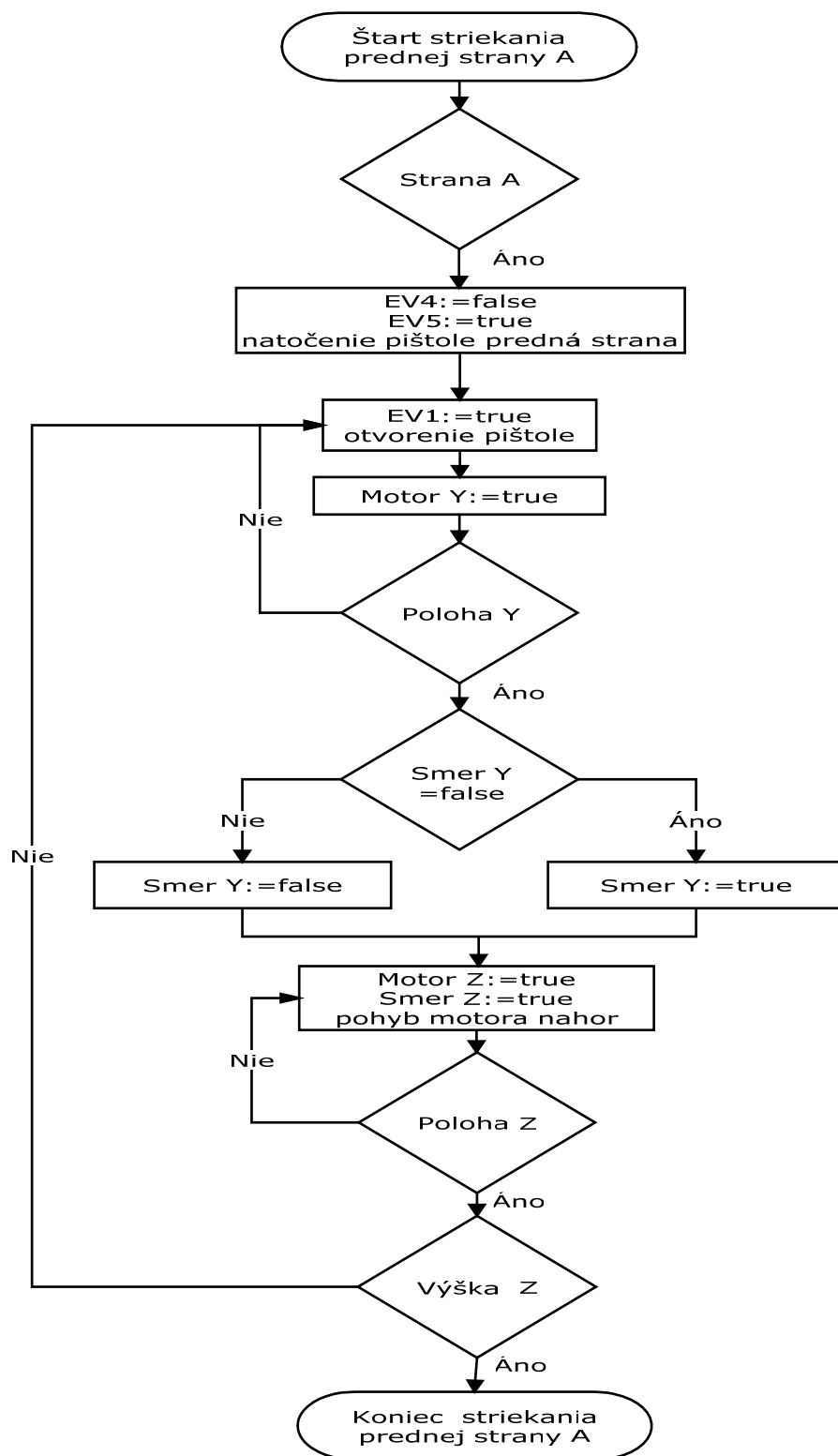
Striekanie prednej a zadnej strany kontajnera

Tomuto striekaniu predchádza natočenie striekacej pištole EV1 pomocou pneumatických piestov s označením EV4 a EV5. V prípade striekania prednej strany PLC program zabezpečí otvorenie ventilu EV5 a zavretie ventilu EV4. V prípade striekania zadnej strany je proces opačný a to zatvorenie ventilu EV5 a otvorenie ventilu EV4. Správne natočenie pištole je kontrolované indukčnými snímačmi umiestnenými v krajných polohách pneumatického piestu.

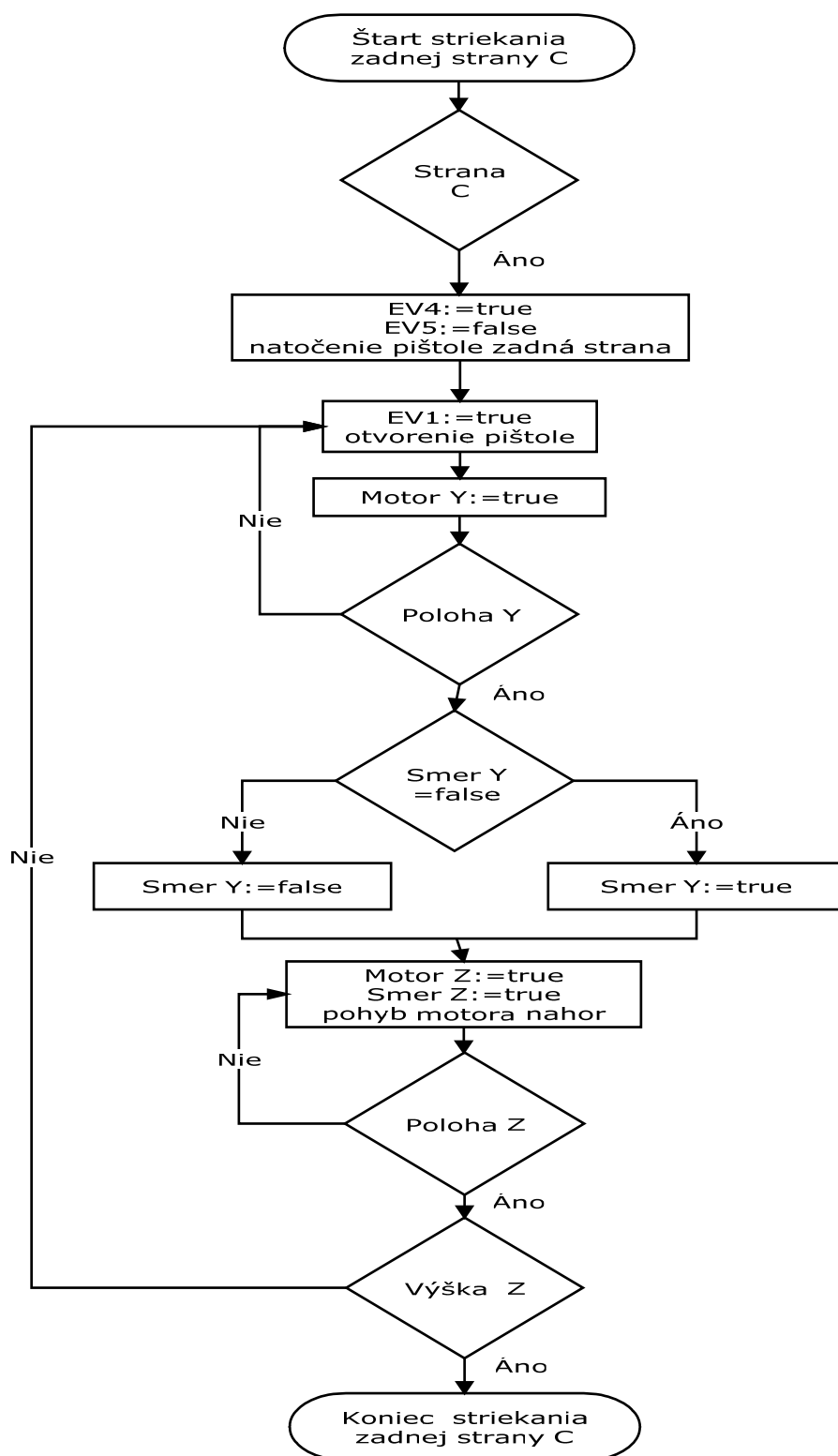
Otvorením ventilu striekacej pištole EV1 sa spustí proces nanášania samotnej farby na kontajner. Následne je nutné spustiť pohyb striekacej pištole (motor osi Y) z ľavej krajnej strany na pravú krajnú stranu kontajnera. Po príchode na pravú krajnú stranu sa zavrie ventil prívodu farby do striekacej pištole EV1 a zastaví sa Y motor pohybu striekacej pištole.

Následne sa zmení smer Y motora a spustí sa motor Z na presun pištole o požadovanú hodnotu odstupu striekaného lúča. Po príchode do požadovanej Z polohy, opätovne sa otvorí ventil EV1 na prívod farby do striekacej pištole a spustí sa motor Y z ľavej strany na pravú stranu, čiže opačným smerom.

Takýmto spôsobom sa bude opakovať proces striekania prednej a zadnej strany až pokiaľ sa nenastrieka celá bočná strana, čiže do Z výšky kontajnera. Vývojový diagram procesu striekania prednej a zadnej strany je znázornený na obrázku 4.7 a 4.8.



Obr. 4.7 Vývojový diagram procesu striekania prednej strany



Obr. 4.8 Vývojový diagram procesu striekania zadnej strany

Striekanie vrchnej strany kontajnera

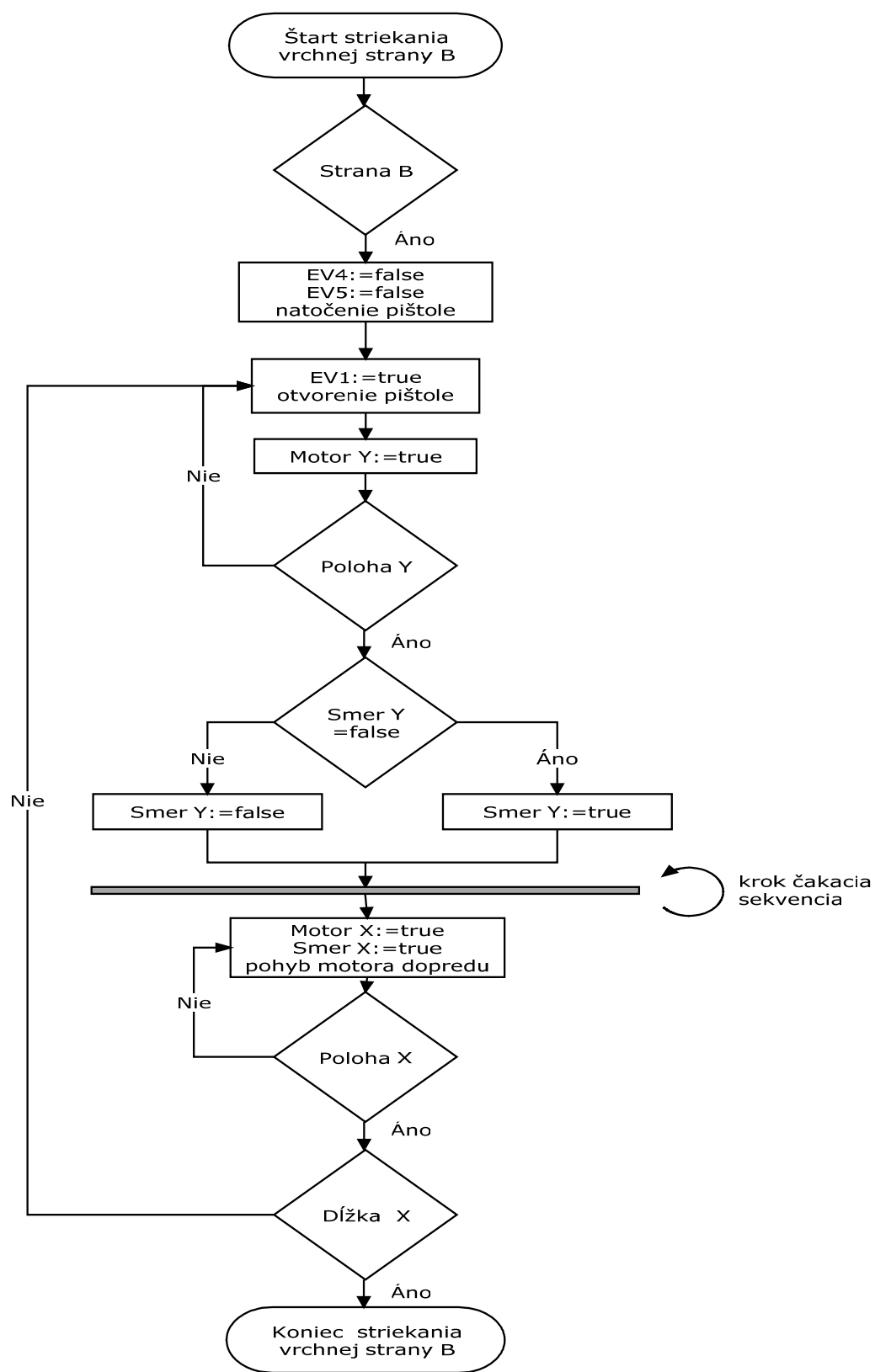
Tomuto striekaniu predchádza natočenie striekacej pištole EV1 pomocou pneumatických piestov s označením EV4 a EV5. Správne natočenie na striekanie vrchnej strany zabezpečí PLC program zatvorením ventilu EV4 a EV5. Kontrola správnej polohy je riešená prostredníctvom dvojice indukčných snímačov umiestnených v krajných polohách pneumatického piestu.

Otvorením ventilu striekacej pištole EV1 sa spustí proces nanášania samotnej farby na vrchnú stranu kontajnera. Následne je nutné spustiť pohyb striekacej pištole (motor osi Y) z jednej krajnej strany na druhú krajnú stranu kontajnera. Po príchode na okraj kontajnera sa zavrie ventil prívodu farby do striekacej pištole EV1 a zastaví sa Y motor pohybu striekacej pištole.

Následne sa zmení smer Y motora. V prípade, že sa striekajú aj bočné strany, je nutné čakať pokiaľ sa tieto strany nastriekajú a až potom spustiť motor X. V prípade, že sa nestriekajú bočné strany spustí sa motor X okamžite.

Spustením motora dráhy X sa presunie pištoľ o požadovanú hodnotu odstupu striekaného lúča. Po príchode do požadovanej X polohy, opätovne sa otvorí ventil EV1 na prívod farby do striekacej pištole a spustí sa motor Y opačným smerom.

Takýmto spôsobom sa bude opakovať proces striekania vrchnej strany až pokiaľ sa nenastrieka celá vrchná strana, čiže do X dĺžky kontajnera. Vývojový diagram procesu striekania vrchnej strany je znázornený na obrázku 4.9.



Obr. 4.9 Vývojový diagram procesu striekania vrchnej strany

Striekanie bočných strán kontajnera

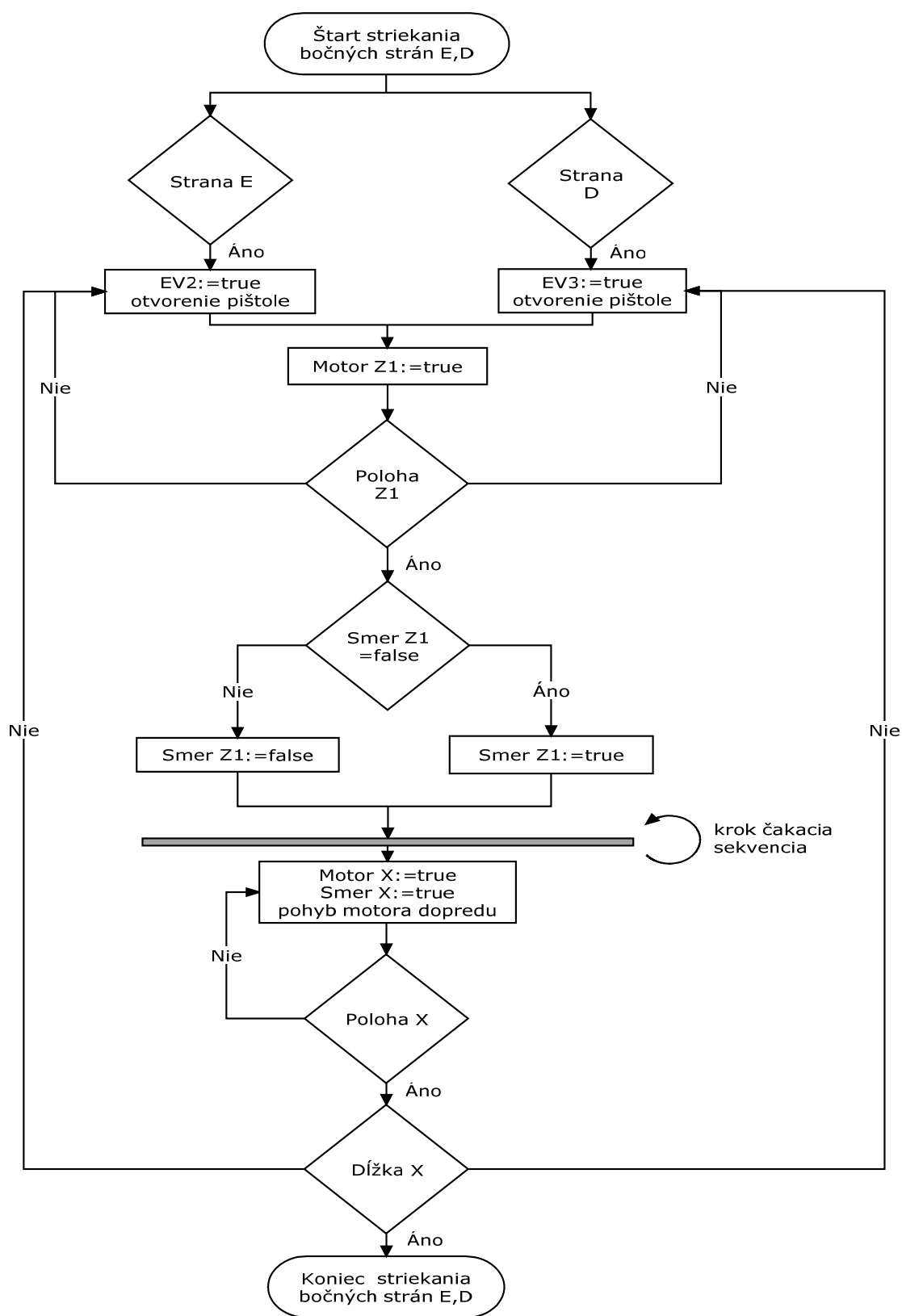
Na striekanie bočných strán kontajnera slúžia striekacie pištole s označením EV2 a EV3. Otvorením ventilov striekacích pištolí EV2 a EV3 sa spustí proces nanášania samotnej farby na bočné strany kontajnera. Následne je nutné spustiť pohyb striekacej pištole z vrchu, z výšky kontajnera smerom nadol pomocou motora v osi Z1. Po príchode na spodnú časť kontajnera sa zavrú ventile prívodu farby do striekacích pištolí EV2 a EV3 a zastaví sa Z1 motor pohybu striekacej pištole.

Následne sa zmení smer Z1 motora. V prípade, že sa strieka aj vrchná strana, je nutné čakať pokiaľ sa nedokončí striekanie tejto strany a až následne spustiť motor X. V prípade, že sa nestrieka vrchná strana spustí sa motor X okamžite.

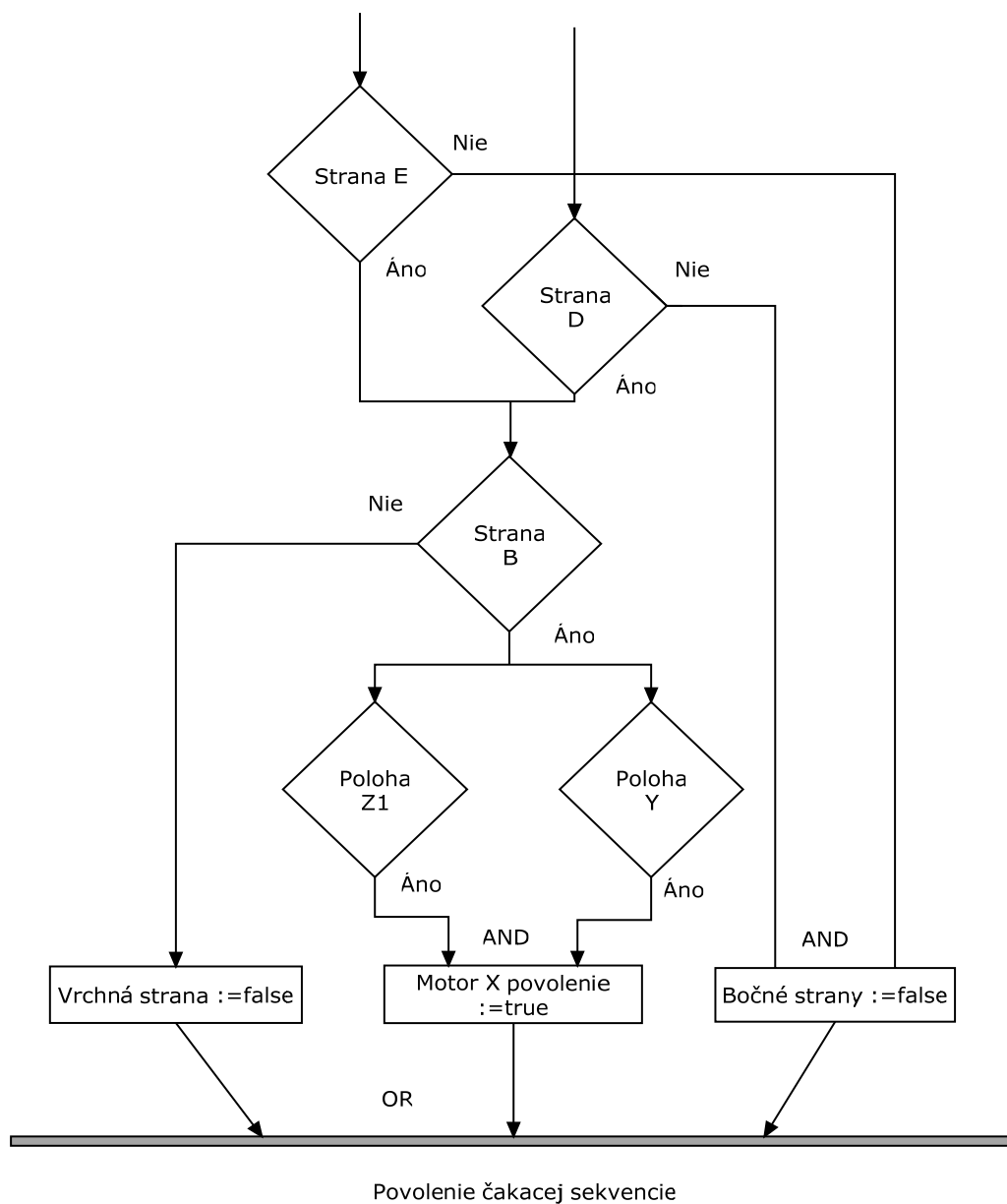
Spustením motora dráhy X sa presunie pištoľ o požadovanú hodnotu odstupu striekaného lúča. Po príchode do požadovanej X polohy, opätovne sa otvorí ventil EV2 a EV3 na prívod farby do striekacej pištole a spustí sa motor Z1 opačným smerom.

Takýmto spôsobom sa bude opakovať proces striekania bočných strán až pokiaľ sa nenastrieka celá bočná strana, čiže do X dĺžky kontajnera. Vývojový diagram procesu striekania bočných strán je znázornený na obrázku 4.10.

Vývojový diagram čakacej sekvencie posunu X osi pri striekaní bočných strán a vrchnej strany je znázornený na obrázku 4.11.



Obr. 4.10 Vývojový diagram procesu striekania bočných strán



Obr. 4.11 Vývojový diagram procesu čakacej sekvencie

4.2.5 Sekcia počítanie polohy Y, X, Z a Z1

Tieto časti zdrojového kódu zabezpečujú výpočet a kontrolu polohy lineárneho pohybu jednotlivých osí manipulátora. Na základe pulzov z indukčného snímača umiestneného na ozubenom kolese jednotlivých osí sa robí prepočet pulzov na polohu. Presnosť polohy je daná rozlíšením snímania pulzov, tzv. rozstupom zubov na ozubenom kolese.

V tejto sekcii je programový kód, ktorý zabezpečuje väčšiu presnosť zastavovania a plynulosť riadenia lineárneho pohybu, a to pomocou riadenia rozbehu, spomalenia a zastavenia motora. Riadenie prebieha prepínaním dvoch rýchlostí na frekvenčnom meniči. Sekvencia rozbehu je riešená časovou konštantou o hodnote 1 sekundy. Spomalenie je aktivované chýbajúcimi dvoma pulzami z indukčného snímača pred príchodom do cieľovej polohy.

4.2.6 Sekcia ovládanie vzduchu

Táto časť programového kódu zabezpečuje natáčanie pištole EV1 a otváranie prívodu farby do pištole EV1, EV2 a EV3. Riadenie je buď v automatickom režime alebo manuálne prostredníctvom diaľkového ovládania alebo cez dotykový terminál NS.

4.2.7 Sekcia ovládanie motorov

Táto časť programového kódu zabezpečuje ovládanie motorov jednotlivých osí manipulátora. Riadenie je riešené cez frekvenčné meniče Omron rady J7. Meniče zabezpečujú chod, zmenu smeru a rýchlosti jednotlivých motorov. Takisto je kontrolovaný aj stav frekvenčných meničov, či nie sú v poruche. Ovládanie je buď v automatickom režime alebo manuálne prostredníctvom diaľkového ovládania alebo cez dotykový terminál.

V prípade riadenia meničov v Z a Z1 osi je nutné riadiť aj brzdu motora. Pri rozbehu motora je nutné najprv poslať signál na beh do frekvenčného meniča a následne s časovým oneskorením 200ms odbrzdiť brzdou. Takýmto spôsobom nabudíme cievky motora a v prípade odbrzdzenia nenastane pokles v osi Z a Z1. Taktiež pri dobehu motora je nutné najprv zabrzdiť motor a s časovým oneskorením 200ms zastaviť beh motora signálom stop do frekvenčného meniča. Toto je nutnérobiť z dôvodu pomalšej reakcie pneumatických brzd, oproti elektronike riadenia motora.

4.2.8 Sekcia prepočty

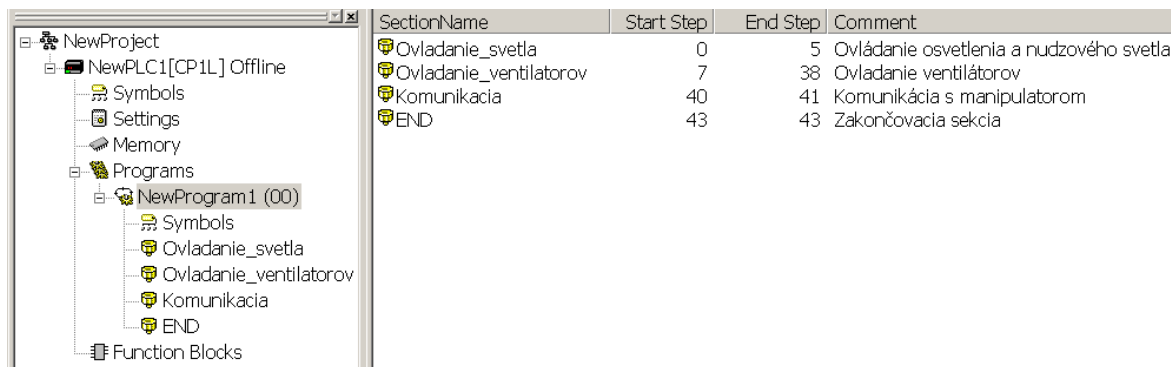
Táto časť programového kódu obsahuje rôzne matematické prepočty používané vo všetkých sekciách programu. Väčšinou sa jedná o prepočty rozmeru v mm na počet pulzov presunu.

4.2.9 Sekcia komunikácia

Táto časť programového kódu slúži na výmenu informácie medzi PLC manipulátorom a PLC ventiláciou. Riadiaci systém manipulátora kontroloval prostredníctvom komunikácie stav spustenia jednotlivých sacích a odsávacích ventilátorov, bezpečnostný stop okruh a uzavretie požiarnych dverí. Podmienkou na spustenie a chod procesu striekania manipulátora je spustenie minimálne 2 sacích a 2 odsávacích ventilátorov, zatvorenie všetkých požiarnych dverí a nerozpojený bezpečnostný stop okruh (nudzové stop tlačítka).

4.3 Štruktúra programu ventilácie

Program je tvorený v programovom prostredí CX Programmer spoločnosti Omron. Štruktúra hlavného programu je delená do troch sekcií, v ktorých sa cyklicky vykonávajú jednotlivé programovacie kódy riadenia ventilácie (Obr. 4.12).



SectionName	Start Step	End Step	Comment
Ovládanie_svetla	0	5	Ovládanie osvetlenia a núdzového svetla
Ovládanie_ventilatorov	7	38	Ovládanie ventilátorov
Komunikacia	40	41	Komunikácia s manipulatorom
END	43	43	Zakončovacia sekcia

Obr. 4.12 Program riadenia ventilácie

4.3.1 Sekcia ovládanie svetla

V tejto časti programového kódu ovládam zapínanie svetla prostredníctvom povelov z dotykového terminálu. Taktiež je stále zapnutý výstup pre dobíjanie batérie núdzového osvetlenia.

4.3.2 Sekcia ovládanie ventilátorov

V tejto časti programového kódu je zabezpečené ovládanie sacích a odsávacích ventilátorov. Riadenie je závislé od voľby operátora prostredníctvom dotykového terminálu. Spustenie a chod ventilátorov je podmienený logickým signálom z bezpečnostného okruhu stop tlačítok.

4.3.3 Sekcia komunikácia

Sekcia komunikácie slúži na výmenu dát medzi riadiacim systémom manipulatora a riadiacim systémom ventilácie. Z PLC ventilácie sa posielajú údaje o zapnutí jednotlivých sacích a odsávacích ventilátorov, o bezpečnostnom stop okruhu a o otvorení požiarnej dverí.

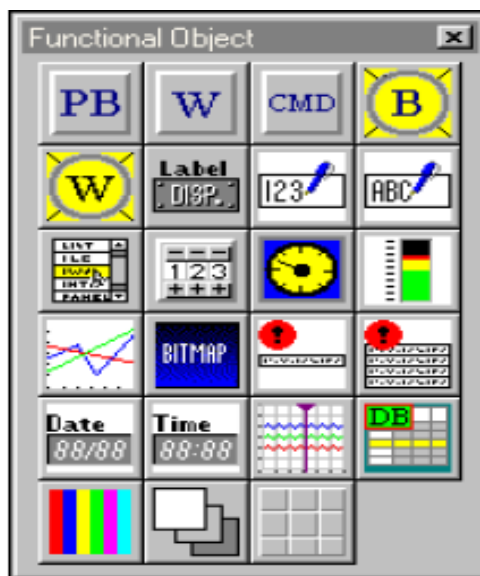
5 Návrh a realizácia vizualizačnej aplikácie

5.1 Programovací softvér pre NS radu terminálov CX Designer

Na vytvorenie užívateľskej aplikácie pre NS terminály slúži softvérový nástroj s označením NS Designer. Pri vytváraní vizualizačnej aplikácie navrhujeme jednotlivé vizualizačné *obrazovky*. Pripojením PT (programovateľný terminál) pod napájacie napätie sa ako prvá zobrazí východzia obrazovka. Následne sú jednotlivé vytvorené obrazovky zobrazované napr. zatlačením tlačítka na obrazovke, prípadne nastavením vopred zadaného bitu do vopred predpísaného stavu. Každá obrazovka je očíslovaná a môže mať pridelený názov. Pridelenie názvu sprehľadňuje vytvorenú vizualizačnú aplikáciu. Maximálny počet obrazoviek je limitovaný veľkosťou programovej pamäti, ktorá je u NS5 6MB [8].

Obrazovky sa skladajú z jednotlivých textových a grafických *objektov* (Obr. 5.1). Objekty umiestnené na obrazovke PT vykonávajú rôzne akcie, ako príklad by som uviedol tieto najčastejšie úlohy:

- zobrazovanie textových a grafických správ,
- zapisovanie hodnoty do PLC pamäte,
- čítanie stavu pamäte z PLC.



Obr. 5.1 Objekty CX Designer [8]

Pri práci s PT programátor pracuje so systémovou pamäťou terminálu alebo s *pamäťou PLC*. Na správu tejto pamäte slúži v CX Designer tabuľka symbolov (symbol table). Úpravu adries, symboliky v tejto tabuľke môžeme robiť priamo alebo použiť akýkoľvek tabuľkový procesor (napr. MS Excel). Pomocou skopírovania, úpravy a spätného presunutia do tabuľky symbolov môžeme jednoducho upravovať údaje v nej.

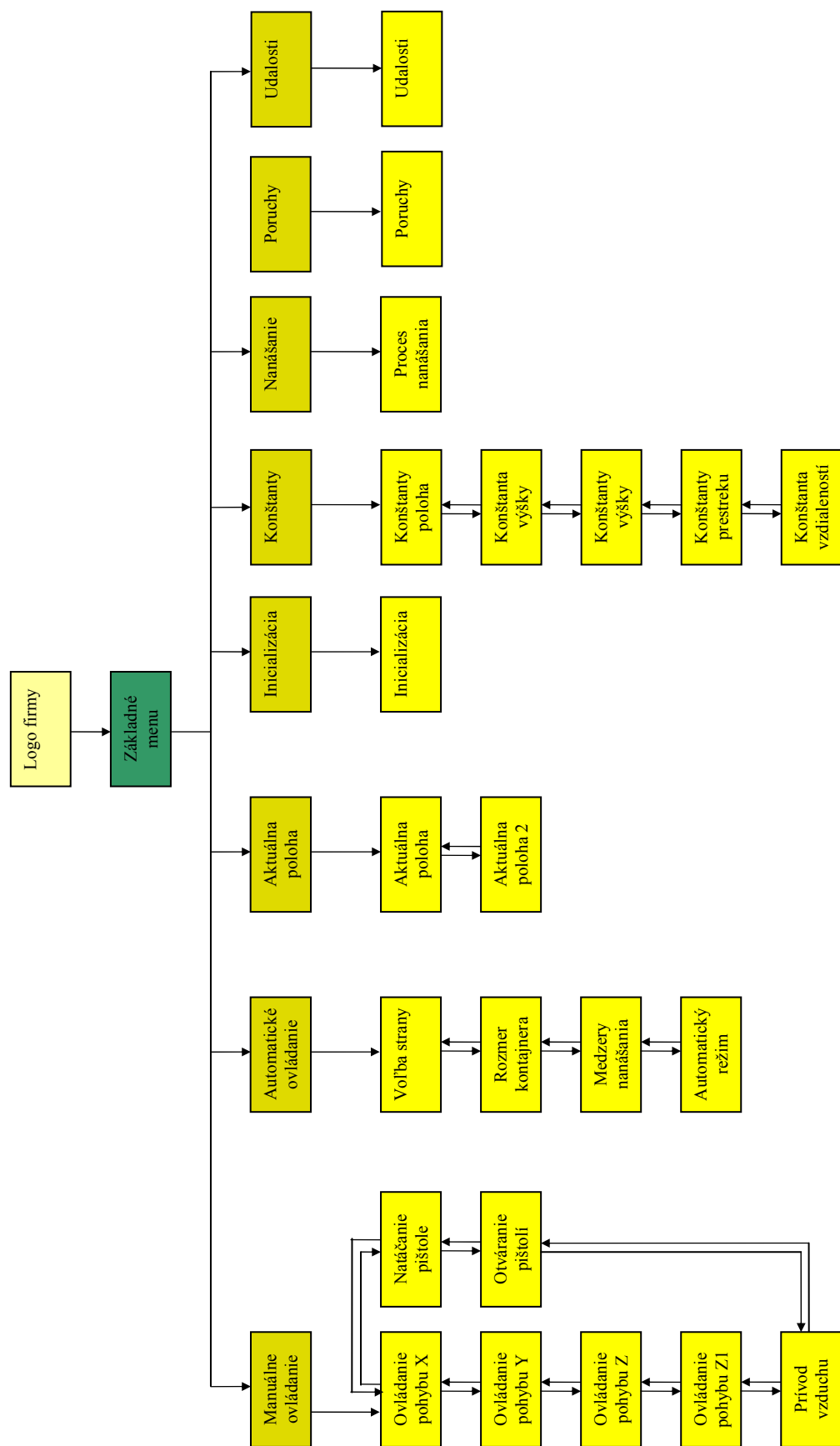
Systémová pamäť slúži k výmene informácií medzi hostiteľom (PLC) a PT, za účelom riadenia PT alebo informovania hostiteľa o stave programovateľného terminálu. Cez túto pamäť môžeme napríklad zmeniť kontrast terminálu, prečítať si číslo aktuálne používanej obrazovky alebo

inicializovať históriu alarmov a udalostí. Bitová pamäť má označenie \$B a slovná pamäť má označenie \$W [8].

PLC pamäť je priamo pamäť PLC, do ktorej môžeme zapisovať alebo z nej čítať. Je taktiež možné na jeden PT pripojiť viacero PLC zariadení a následne môžeme pracovať s pamäťou niekoľkých PLC. Obmedzenie je len v počte komunikačných rozhraní. Najčastejšie pracujem s touto slovnou a bitovou PLC pamäťou CIO,W,H,D.

5.2 Štruktúra vizualizačnej aplikácie manipulátora

Vizualizačnú aplikáciu tvorí 32 obrazoviek, kde pomocou obrazovky základného menu sa operátor dostáva k jednotlivým obrazovkám. Použité obrazovky ukazuje štruktúra zvolenia obrazoviek zobrazená na obrázku 5.2 Rozloženie obrazoviek bolo riešené na základe požiadaviek zákazníka a s prispôbením rozmerom a grafike 5 palcového farebného PT.



Obr.5.2 Štruktúra zvolenia obrazoviek manipulátora

5.2.1 Popis vizualizačnej aplikácie manipulátora

Aplikácia vizualizačných obrazoviek je zobrazená na šedom pozadí. Zvolil som toto riešenie z dôvodu lepšej čitateľnosti jednotlivých ovládacích prvkov umiestnených na paneli počas celého dňa a takisto z dôvodu šetrenia jasu displeja. Samotné ovládacie prvky a textové reťazce sú následné farebne zvýraznené. Všetky ovládacie prvky a zobrazované správy sú prispôsobené veľkosti displeja so zreteľom na dobrú čitateľnosť a komfort ovládania. Z tohto dôvodu museli byť jednotlivé prvky ovládania rozložené na niekoľko obrazoviek, kde operátor prechádza medzi jednotlivými obrazovkami pomocou tlačítok umiestnených na spodnej strane obrazovky (Ďalej, Naspäť). V ďalšej časti práce ukážem a popíšem niekoľko základných obrazoviek.

5.2.2 Obrazovka loga firmy

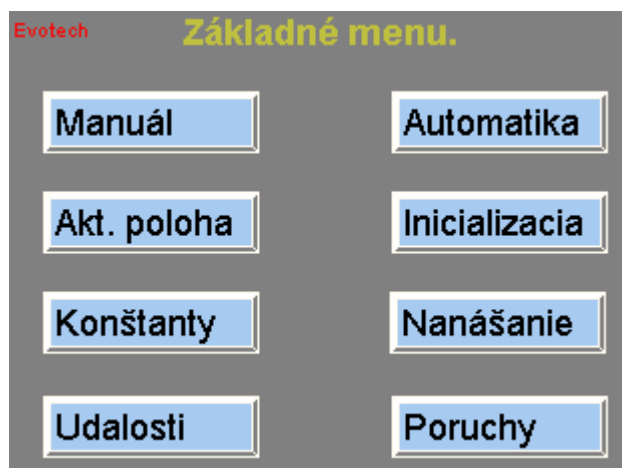
Táto obrazovka je úvodná a načíta sa po zapnutí terminálu. Taktiež je možné sa na ňu dostať z obrazovky hlavného menu. V ľavom hornom rohu je zobrazený aktuálny čas a dátum, ktorý je v prípade potreby možné zmeniť kliknutím na jednotlivý zobrazovací prvok. Z tejto obrazovky sa presuniem do ovládacieho menu pomocou tlačítka Menu.



Obr. 5.3 Obrazovka loga firmy

5.2.3 Obrazovka základného menu

Táto obrazovka je základná a z nej sa operátor presúva do jednotlivých obrazoviek ovládania, nastavovania a kontroly stavu lakovacej linky.



Obr. 5.4 Obrazovka základného menu

5.2.4 Obrazovky manuálneho ovládania

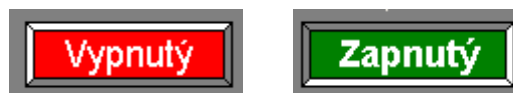
V jednotlivých obrazovkách manuálneho ovládania manipulátora môže operátor po prepnutí prepínača manuálneho režimu na dverách rozvádzača manuálne ovládať jednotlivé časti manipulátora. Ide o ovládanie pohybu jednotlivých osí X, Y, Z, Z1, prívodu vzduchu, ovládanie ventilov striekacích pištolí EV1, EV2, EV3 a natáčanie striekacej pištole EV1 pomocou pneumatického piestu EV4 a EV5. Sú to takmer identické obrazovky a výzor obrazovky ukazuje obr. 5.5.



Obr. 5.5 Obrazovka manuálneho ovládania X osi

Spustenie motora alebo zmena rýchlosti zatlačením daného tlačítka na obrazovke je zvýraznená zmenou farby pozadia tlačítka z červenej na zelenú farbu (Obr. 5.6) . Pri každom

zariadení je aj informačné okno s textom poruchovej správy. Pri obrazovkách motorov je okrem poruchy motora aj signalizácia koncových snímačov (Tab. 5.1).



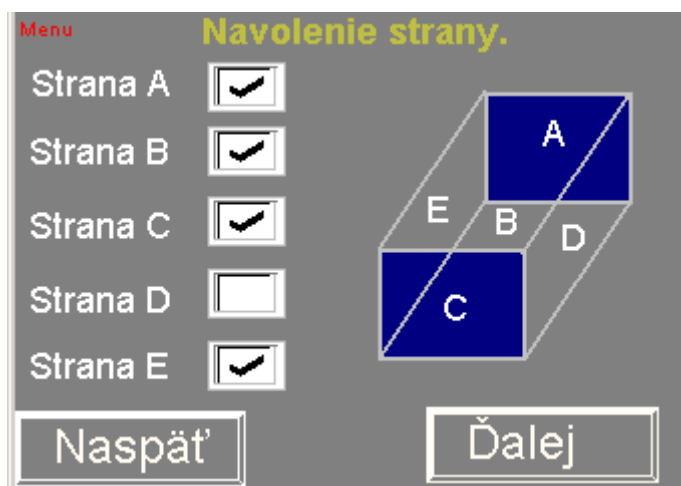
Obr. 5.6 Zmena farby pozadia tlačítka

Typ poruchy	Význam
Porucha motora X, Y, Z, Z1	Signál o poruche z FM
Koncový snímač začiatkovej polohy X, Y, Z, Z1	Signál z koncového snímača, krajná poloha
Koncový snímač koncovkej polohy X, Y, Z, Z1	Signál z koncového snímača, krajná poloha

Tab. 5.1 Tabuľka porúch motor X, Y, Z, Z1

5.2.5 Obrazovky automatického ovládania

Na obrazovkách automatického režimu si operátor volí stranu kontajnera, na ktorú má manipulátor nanášať farbu. Táto voľba je pomocou zaškrtavajúcich tlačítok a jednotlivé strany sú zobrazené na jednoduchom obrázku kontajnera.



Obr. 5.7 Obrazovka voľby strany

Prechodom na ďalšiu obrazovku (tlačítko Ďalej) automatického režimu si operátor volí rozmer kontajnera. Po zatlačení na dané okno rozmeru kontajnera sa objaví klávesnica, v ktorej je možné zadať požadovaný rozmer. Takýmto spôsobom sa navolia všetky tri strany dĺžky, šírky a výšky kontajnera.

Poslednou obrazovkou tejto sekcie je spustenie linky pomocou tlačítka zapnúť, ktorou sa odštartuje automatický proces striekania kontajnera. Z dôvodu predchádzania omylu sa po zatlačení

tlačítka objaví Pop-Up (prekrývacie) okno a operátor musí potvrdiť povel tlačítkom Yes (Obr. 5.10).

Menu **Rozmer kontajnera.**

Dĺžka	4500mm
Šírka	2000mm
Výška	2591mm

Naspäť Ďalej

Obr. 5.8 Obrazovka voľby rozmeru kontajnera

Menu **Automatický režim.**

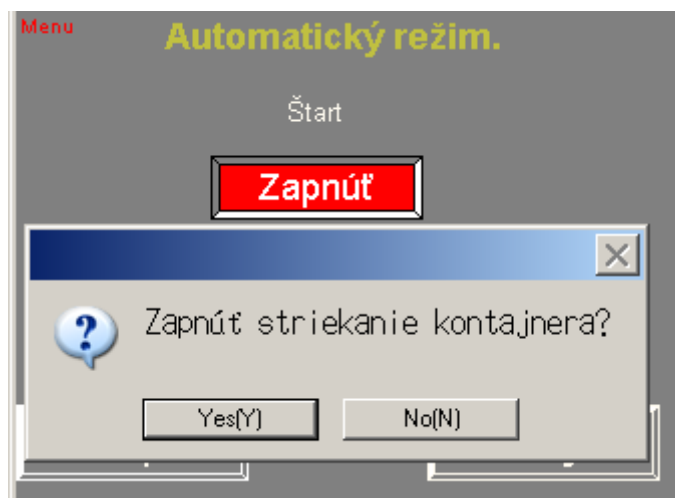
Štart

Zapnúť

**Je potrebné mať zapnuté tlačítko auto
a navolenú aspoň jednu stranu
nanášania.**

Naspäť Ďalej

Obr. 5.9 Obrazovka zapnutia nanášania



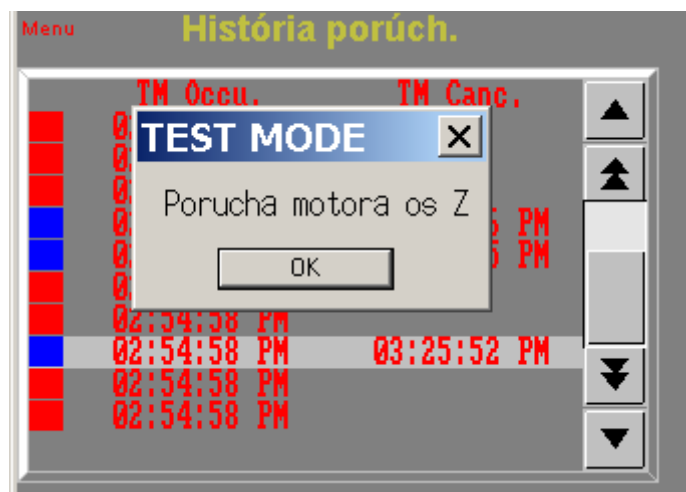
Obr. 5.10 Pop-up okno potvrdenia striekania

5.2.6 Obrazovka histórie porúch

V tejto obrazovke má možnosť operátor si pozrieť okrem histórie aj aktuálny stav poruchových hlásení. Vždy pri každej poruche je čas nastania poruchy s časom ukončenia poruchy. Pre bližší náhľad na poruchu je potrebné kliknúť na daný riadok poruchovej správy, pričom sa zobrazí bližší popis poruchy (Obr. 5.11).



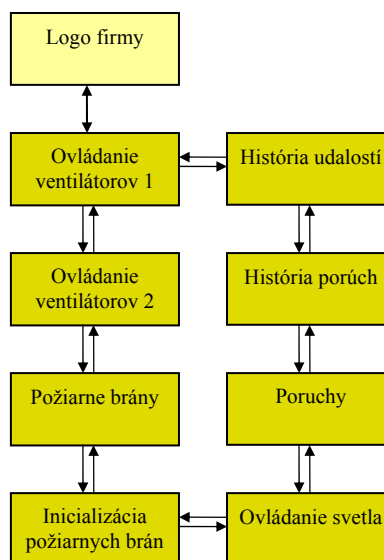
Obr. 5.11 Obrazovka histórie porúch



Obr. 5.12 Zobrazenie popisu poruchy

5.3 Štruktúra vizualizačnej aplikácie ventilácie

Vizualizačnú aplikáciu tvorí osem obrazoviek. Pomocou nich operátor ovláda sacie, odsávacie ventilátory, osvetlenie striekacej kabíny a kontroluje stav zavretia požiarnych brán, alarmy a históriu udalostí. Štruktúra zvolenia obrazoviek je zobrazená na obr. 5.13. Rozloženie obrazoviek je riešené na základe požiadaviek zákazníka a prispôbením rozmerom a grafike 5 palcového čiernobieleho PT.



Obr. 5.13 Štruktúra zvolenia obrazoviek ventilácie

5.3.1 Popis vizualizačnej aplikácie ventilácie

Aplikácia vizualizačných obrazoviek je zobrazená na šedom pozadí. Toto riešenie som zvolil z dôvodu lepšej čitateľnosti jednotlivých ovládacích prvkov umiestnených na paneli počas celého dňa a tak isto z dôvodu šetrenia jasú displeja. Samotné ovládacie prvky a textové reťazce sú farebne odlišené. Z dôvodu použitia čiernobieleho terminálu máme obmedzené možnosti výberu farieb, a preto bolo možné použiť len 16 druhov farieb, čierna, biela a 14 druhov šedej farby. Všetky ovládacie prvky a zobrazované správy sú prispôsobené veľkosti displeja so zreteľom na dobrú čitateľnosť a komfort ovládania. Preto museli byť jednotlivé prvky ovládania rozložené na niekoľko obrazoviek, kde operátor prechádzal medzi jednotlivými obrazovkami pomocou tlačítok umiestnených na spodnej strane obrazovky (Ďalej, Naspäť).

5.3.2 Obrazovka loga firmy

Táto obrazovka je úvodná a načíta sa po zapnutí terminálu. Taktiež je možné sa na ňu dostať z obrazovky ovládania ventilátorov. V ľavom hornom rohu je zobrazený aktuálny čas a dátum, ktorý je v prípade potreby možné zmeniť kliknutím na jednotlivý zobrazovací prvok. Z tejto obrazovky sa presunom do prvej pracovnej obrazovky vizualizácie pomocou tlačítka Menu.



Obr. 5.14 Obrazovka loga firmy

5.3.3 Obrazovky ovládania ventilátorov

V tejto a nasledujúcej obrazovke ventilátorov je možné ovládať pomocou ôsmich virtuálnych tlačítok jednotlivé sacie a odsávacie ventilátory. Ukážka prvej obrazovky je na obrázku 5.18. Každý ventilátor má vlastné ovládanie a stav zapnutia ventilátora je zvýraznený zmenou farby daného tlačítka (Obr. 5.16).



Obr. 5.15 Obrazovka ovládania ventilátorov



Obr. 5.16 Zmena farby pozadia tlačítka

5.3.4 Obrazovky požiarne brány

Na tejto obrazovke je zobrazený počet zatvorených požiarных brán. V prípade otvorenia akejkoľvek požiarnej brány pri procese lakovania je odstavený proces striekania a následne je nutné vykonať inicializáciu požiarных brán.



Obr. 5.17 Obrazovka stavu požiarных brán

5.3.5 Obrazovky aktuálnej poruchy

V tejto obrazovke je možnosť resetovania bezpečnostného okruhu stop tlačítok. Reset sa prevedie len v prípade, že stop tlačítka nie sú zatlačené. Okrem funkcie resetu stop tlačítok je vo vrchnej časti obrazovky zobrazená aktuálna porucha. Všetky textové reťazce zobrazenia porúch sú v tabuľke 5.2. Reset týchto porúch nie je podmienený zatlačením reset-u stop tlačítka.



Obr. 5.18 Obrazovka aktuálnej poruchy

5.3.6 Obrazovky histórie porúch

V tejto obrazovke sú archivované všetky alarmy. Operátor má možnosť vidieť okrem typu alarmu, aj čas nastavenia a zrušenia alarmu.



Obr. 5.19 Obrazovka histórie porúch

Typ poruchy	Význam
Tlakový spínač	Signál z tlakového spínača
Núdzové stop tlačítko	Signál zo stop tlačítok
Horné klapky	Signál z indukčných snímačov horných klapiek
Dolné klapky	Signál z indukčných snímačov dolných klapiek
Spínač dverí	Signál zo dverného snímača

Tab. 5.2 Tabuľka porúch

5.3.7 Obrazovky histórie udalostí

V tejto obrazovke sú archivované všetky udalosti. Do udalostí sú zahrnuté nasledujúce údaje:

- čas chodu jednotlivých ventilátorov (čas zapnutia a vypnutia),
- čas spustenie svetiel (čas zapnutia a vypnutia).



Obr. 5.20 Obrazovka histórie udalostí

História udalostí slúži operátorom alebo údržbárom na kontrolu času spúšťania jednotlivých zariadení ventilácie lakovne.

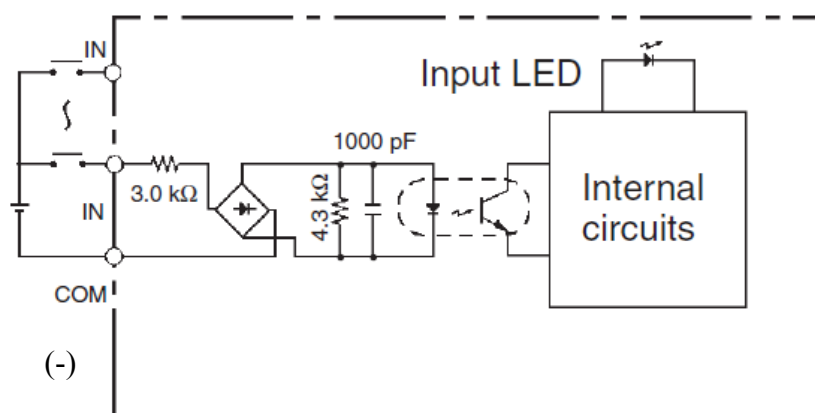
6 Uvedenie zariadenia do prevádzky

6.1 Manipulátor

6.1.1 Oživenie hardvéru manipulátora

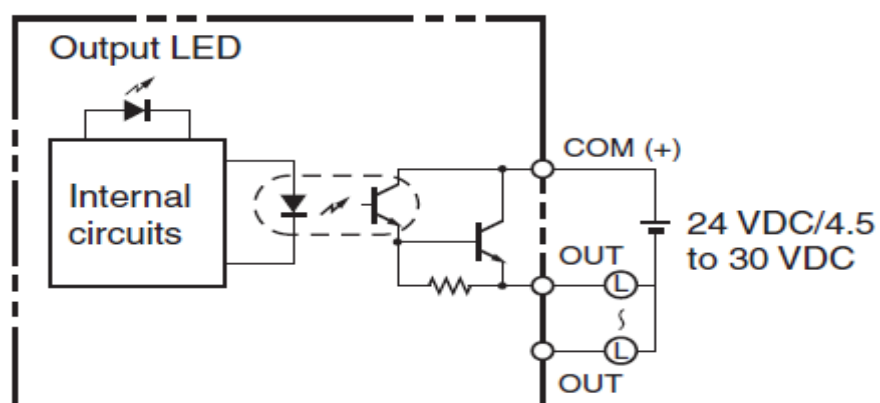
Zapojenie PLC

Pred samotným testovaním programu prebehla kontrola zapojenia riadiaceho systému CP1H. Skontrolovali sme prítomnosť napájacieho napätia 24VDC a zapojenie jednotlivých vstupov (Obr. 6.1) a výstupov (Obr. 6.2). Na výstupnej karte (PNP tranzistory) musí byť na COM svorku privedených + 24VDC a navzájom všetky COM svorky poprepájané [5].



Obr. 6.1 Zapojenie vstupov [5]

Sourcing Outputs



Obr. 6.2 Zapojenie výstupov [5]

Taktiež prebehla kontrola zapojenia rozširujúcej vstupno-výstupnej karty. Schéma zapojenia je identická ako u zapojenia vstupov a výstupov na PLC. Napájanie si berie rozširujúca karta zo samotného PLC.

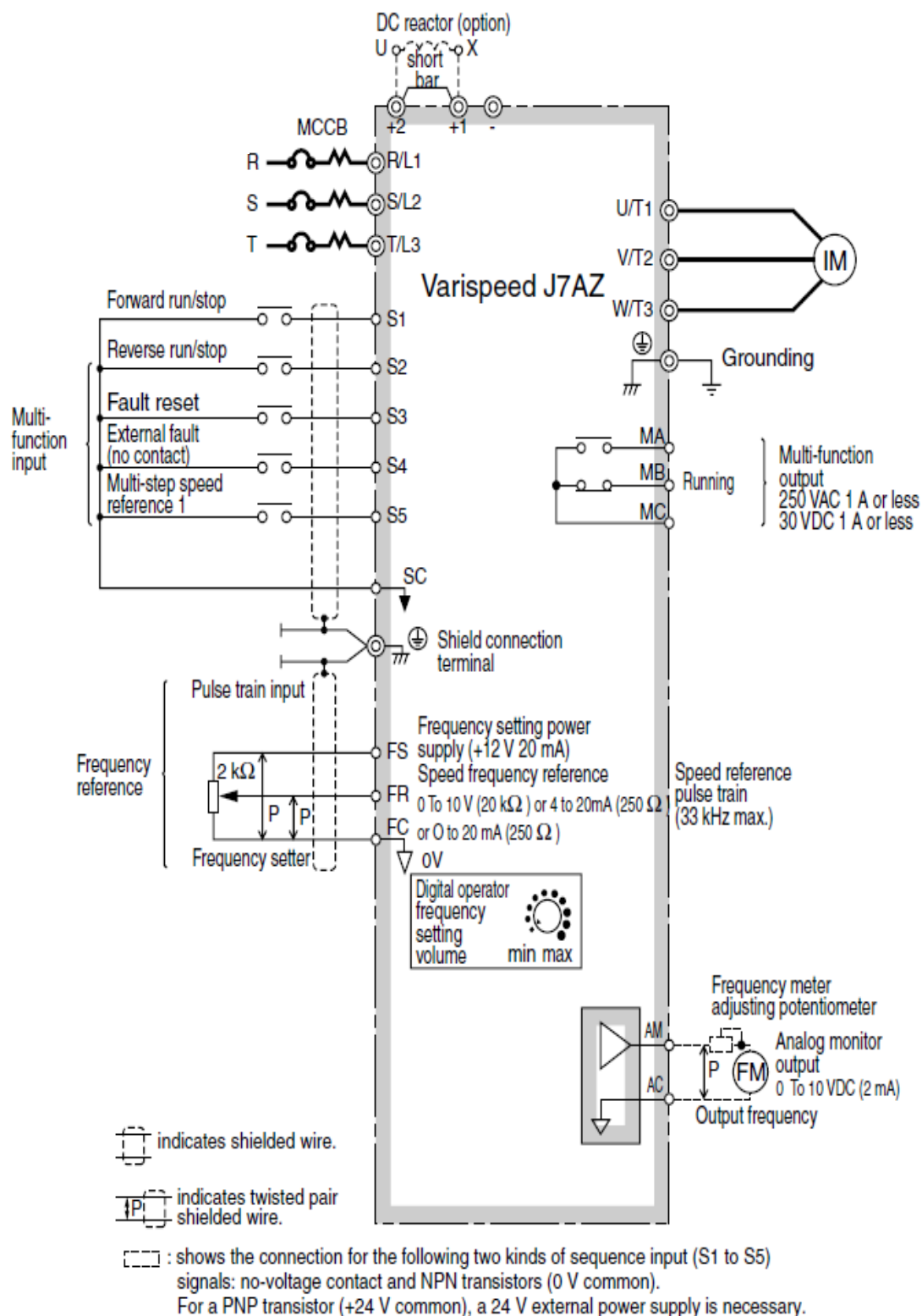
Následne sme skontrolovali osadenie komunikačného modulu RS232 a prepojenie s vizualizačným terminálom (kap.3.1.4). Na komunikačnom module RS422A/485 sme nastavili typ komunikácie pomocou DIP prepínačov a skontrolovali sme prepojenie PLC prostredníctvom komunikačného kábla (kap. 3.1.3).

Následne prebehla kontrola napájacieho napätia 24VDC na vizualizačnom terminále NS. Po týchto kontrolách sme zapli stykač ovládacieho napájania PLC a terminálu a skontrolovali sme indikačné led diódy PLC, komunikačných modulov a terminálu.

Zapojenie frekvenčných meničov a motorov

Na obrázku 6.3 je znázornená schéma zapojenia frekvenčného meniča J7. Na svorkách L1, L2 sme skontrolovali pripojenie napájacieho napätia 230VAC. Svorka L3 sa nezapája, len u meničov s trojfázovým napájacím napätím 400VAC. Výstupné svorky U, V, W slúžia na pripojenie kábla ku el. motoru [6]. Na základe štítkových údajov z motorov (Tab. 6.1) a jednofázového napájacieho napätia meniča 230VAC sme zapojili motory do trojuholníka (kap. 3.2.1).

Okrem týchto silových svoriek je nutné ešte zapojiť digitálne vstupy a výstupy. Tieto ovládacie 24VDC vstupy a výstupy sú prepojené s PLC a slúžia na riadenie chodu motora. Digitálne vstupy použijeme na riadenie chodu, smeru, rýchlosti a reset poruchy meniča. Digitálne výstupy použijeme na indikáciu stavu meniča, či je v poruche. Analogový vstup na možné zadávanie rýchlosti sa nepoužil, pretože nebolo potrebné plynule regulovať otáčky motorov. Použitie vstupy a výstupy sú zobrazené v Tab. 6.2.



Obr. 6.3 Príklad zapojenia meniča J7 [6]

Parametre	Pohon X os	Pohon Z os	Pohon Z1 os	Pohon Y os
Frekvencia [Hz]	50	50	50	50
Výkon [kW]	0,37	0,55	0,12	0,12
Otáčky [ot/min]	1410	1405	1425	1425
Napätie zapojenie hviezda Y [V]	400	400	400	400
Napätie zapojenie trojuholník Δ [V]	230	230	230	230
Rozsah prúdu [%]	± 10	± 10	± 10	± 10
Prúd zapojenie hviezda Y [A]	0,95	1,4	0,49	0,49
Prúd zapojenie trojuholník Δ [A]	1,6	2,4	0,85	0,85
Účinnosť [Cos Φ]	0,72	0,77	0,56	0,56

Tab. 6.1 Štítkové údaje z motorov

Označenie	Význam	Typ
S1	Štart dopredu	IN
S2	Štart dozadu	IN
S3	Reset poruchy	IN
S5	Rýchlosť	IN
MC-MA	Porucha meniča	OUT

Tab. 6.2 Použité ovládacie vstupy a výstupy

Po kontrole zapojenia frekvenčných meničov a motorov, sme zapli poistkové istenie (10A poistky) pre prívod napájacieho napätia do jednotlivých meničov.

Následne je nutné nastaviť prostredníctvom ovládacieho terminálu parametre pre jednotlivé FM. Postup nastavenia parametrov je v kap. 3.2.2. Pred samotným nastavením jednotlivých parametrov sme vykonali inicializáciu FM a to nastavením parametra n01 na hodnotu 12. Následne sme nastavili ostatné potrebné parametre a to spôsob riadenia, rozbehové a dobehové rampy, rýchlosti, funkcie digitálnych vstupov a digitálneho výstupu a štítkové údaje prúdu motora pri zapojení do trojuholníka. Nastavené hodnoty a význam jednotlivých parametrov je popísaný v Tab. 6.3 a v užívateľskej príručke, ktorá je súčasťou FM [6].

Par.	FM1 X os	FM2 Z os	FM3 Z1 os	FM4 Y os	Jednotka	Význam
n01	12	12	12	12	-	inicializácia meniča
n02	1	1	1	1	-	riadenie do meniča cez multifunkčné vstupy
n03	1	1	1	1	-	frekvencie do meniča (n21) cez multifunkčné vstupy
n09	50	50	50	50	Hz	maximálna výstupná frekvencia
n10	230	230	230	230	V	maximálne výstupné napätie
n11	50	50	50	50	Hz	maximálne napätie je možné pri frekvencii
n16	3	3	3	3	s	čas rozbehu 1
n17	3	3	3	3	s	čas dobehu 1
n21	5	5	5	5	Hz	pomalý chod
n22	20	20	20	20	Hz	rýchly chod
n32	1,6	2,4	0,85	0,85	A	nominálny prúd motora
n36	2	2	2	2	-	reverz/stop, vstup svorka S2
n39	6	6	6	6	-	multikroková rýchlosť, vstup svorka S5
n40	13	13	13	13	-	releový výstup - pripravený, log 1 stále okrem poruchy

Tab. 6.3 Nastavené parametre FM

6.1.2 Kontrola vstupno-výstupných signálov

Z dôvodu zamedzenia škôd na zariadení je kontrola správneho zapojenia signálov nevyhnutnou záležitosťou. Jedná sa o zlé adresovanie v PLC alebo zlé zapojenie signálov na svorkách PLC. Je niekoľko spôsobov, ako vykonať túto kontrolu, ale najrýchlejším spôsobom je pripojenie sa k PLC a vytvorenie si tabuľky s jednotlivými vstupno-výstupnými signálmi. Prostredie CX Programmer obsahuje integrovaný nástroj Watch Window [7], do ktorého je možné skopírovať signály z tabuľkového procesora (napr. MS excel), alebo zo symboliky. Taktiež je možné tento proces presunu premenných uskutočniť priamo, pretiahnutím signálov z pracovnej plochy ladder diagramu.

Jednotlivé body kontroly:

- vstupné signály od senzorov sme kontrolovali priamo zatlačením jednotlivých koncových snímačov, indukčných snímačov,
- vstupné signály tlačítok na diaľkovom ovládaní sme kontrolovali ich zatlačením,
- výstupné signály sme kontrolovali simulovaním stavu TRUE a FALSE (Force mód ON, OFF).

6.1.3 Testovanie funkcie linky

Testovanie jednotlivých funkcií zdrojového kódu prebiehalo po častiach, kde sme postupne testovali jednotlivé funkcie ovládania linky. Táto časť je veľmi dôležitá, nakoľko išlo o zariadenie, ktorého nesprávny pohyb mohol spôsobiť zranenie obsluhujúceho personálu alebo materiálne škody.

Spomeniem najdôležitejšie kroky ladenia a testovania striekacieho manipulátora:

- prostredníctvom manuálneho ručného ovládania sme otestovali jednotlivé osi pohybu X, Y, Z a Z1. Na základe pohybu osí sme vykonali ladenie parametrov FM ako rozbehové, dobehové rampy, rýchlosť meniča. V programe sme upravili časové sekvencie odbrzdovania motorov u vertikálnych osí Z a Z1, pri rozbehu a dobehu motora,
- odskúšanie jednotlivých ventilov pre ovládanie otvárania alebo natáčania striekacích trysiek,
- odskúšanie ovládania jednotlivých osí a trysiek manipulátora cez vizualizačný terminál NS,
- odskúšanie bezpečnostných koncových spínačov a ich funkcia odstavovania motorov, odskúšanie bezpečnostných stop tlačítok,
- odskúšanie výpočtu polohy prostredníctvom počítania pulzov z jednotlivých osí manipulátora,
- odskúšanie automatického polohovania do vopred zadanej polohy presunu manipulátora,
- odskúšanie jednotlivých sekvencií pohybu predná, vrchná, zadná, bočná strana,
- odskúšanie automatickej sekvencie bez kontajnera,
- odskúšanie automatickej sekvencie s kontajnerom.

6.2 Ventilácia

6.2.1 Oživenie hardvéru ventilácie

Zapojenie PLC

Pred samotným testovaním programu prebehla rovnako, ako u predchádzajúceho systému, kontrola zapojenia riadiaceho systému ventilácie CP1L. Skontrolovali sme prítomnosť napájacieho napätia 24VDC a zapojenie jednotlivých vstupov a výstupov. Taktiež prebehla kontrola zapojenia rozširujúcej vstupno-výstupnej karty. Obrázky schémy zapojenia sú identické ako u CP1H systému, preto ich tu nebudem uvádzať.

Následne sme skontrolovali osadenie komunikačného modulu RS232 a prepojenie s vizualizačným terminálom. Na komunikačnom module RS422A/485 sme nastavili typ komunikácie pomocou DIP prepínačov a skontrolovali sme prepojenie PLC prostredníctvom komunikačného kábla.

Následne prebehla kontrola napájacieho napätia 24VDC na vizualizačnom terminále NS. Po týchto kontrolách sme zapli stykač ovládacieho napájania PLC a terminálu a skontrolovali sme indikačné LED diódy PLC, komunikačných modulov a terminálu.

Zapojenie motorov

Z dôvodu nepoužitia frekvenčných meničov na riadenie motorov ventilácie, kontrola zapojenia prebehla oveľa rýchlejšie. Skontrolovali sme zapojenie stykačov a elektrických motorov. Na základe údajov zo sacích a odsávacích motorov sme nastavili prúdové ochrany J7MN-3R pre jednotlivé motory na hodnotu 8,2A.

Po kontrole zapojenia stykačov a motorov, sme zapli 3 fázové poistkové istenie (10A poistky každá fáza) pre prívod napájacieho napätia ku jednotlivým stykačom.

6.2.2 Kontrola vstupno-výstupných signálov

Pri kontrole správneho zapojenia signálov sme postupovali rovnakým spôsobom, ako u kontroly signálov manipulátora. Vytvorili sme tabuľku signálov Watch Windows [7], pričom vstupné signály sme skontrolovali zatlačením jednotlivých el. zariadení a výstupné signály sme nastavovali do stavu zopnutia prostredníctvom simulovania stavu cez CX Programmer.

Jednotlivé body kontroly:

- vstupné signály od senzorov sme kontrolovali priamo zatlačením jednotlivých snímačov,
- vstupné signály od pomocných kontaktov na jednotlivých stykačoch sme kontrolovali zapnutím stykačov,
- výstupné signály sme kontrolovali simulovaním stavu TRUE a FALSE (Force mód ON, OFF).

6.2.3 Testovanie funkcie ventilácie

Testovanie jednotlivých funkcií zdrojového kódu nebolo náročné z dôvodu jednoduchosti ovládania ventilácie. Spomeniem najdôležitejšie kroky ladenia a testovania ventilácie:

- prostredníctvom ovládania z terminála sme vyskúšali spúšťanie a zastavovanie jednotlivých motorov ventilátorov,
- odskúšanie bezpečnostných stop tlačítok, reset poruchy,
- odskúšanie stavu zápisu udalostí a porúch do pamäte terminála,
- posielanie údajov do PLC zariadení manipulátorov.

7 Záver

V rámci diplomovej práce som spolupracoval s firmou Evotech na návrhu a následnej realizácii automatizovanej lakovacej linky pre firmu Kovo Sipox a.s. Lakovacia linka bola určená na povrchovú úpravu rozmerovo rozličných skladových kontajnerov prostredníctvom automatizovaného systému riadenia.

Moje riešenia ako zamestnanca firmy Omron spočívalo v návrhu riadiaceho systému a následne realizácii riadiacej a vizualizačnej aplikácie ovládania dvoch nezávislých manipulátorov a tlakového vetrania haly lakovne. Na základe požiadaviek zákazníka sa zvolilo riešenie v podobe riadenia procesu lakovania s použitím troch nezávislých decentralizovaných systémov PLC Omron, navzájom prepojených sériovou komunikačnou linkou. Tieto kompaktné rady riadiacich systémov CP1L a CP1H zabezpečovali riadenie vetracieho systému lakovne a riadenie dvoch nezávislých manipulátorov, ktoré vykonávali samotný proces nanášania tekutej farby. Manipulátory sa pohybovali po koľajovom systéme a trojica profesionálnych striekacích pištolí od firmy Graco rozprašovala na povrch kontajnera tekutú farbu. Pohyb jednotlivých osí manipulátora na ktorých boli umiestnené striekacie pištole bol riadený pomocou skalárnych frekvenčných meničov Omron s označením J7. Natáčanie striekacích pištolí bolo realizované pomocou pneumatických piestov.

Všetky elektrické zariadenia umiestnené v priestore striekacej kabíny museli mať krytie Ex II3G EEx de IIA T2 IP54. Toto krytie umožňovalo použitie elektrických zariadení v horľavom prostredí. Z tohto dôvodu sa pri celej koncepcii a návrhu riešenia muselo počítať len so zariadeniami (el. motory, snímače, pneumatické zariadenia, rozvodné krabice), ktoré spĺňujú tento certifikát. Taktiež dodávka takýchto el. zariadení trvala niekoľko mesiacov.

Prínosom pre mňa bolo, že som sa v rámci tejto aplikácie stretol s elektrickými zariadeniami používanými vo výbušnom prostredí. Taktiež aj vyhotovenie a konštrukcia manipulátora bola špeciálna, vzhľadom na rozmery lakovaných kontajnerov. Takto som mal možnosť prispieť k inovácii v procese lakovania, kde doposiaľ tento proces prebiehal manuálne v nevhodných pracovných podmienkach. Celý proces sa však nedal realizovať plne automaticky, z dôvodu nedostupnosti lakovať kontajner z vnútornej a spodnej strany. Toto sa stále musí realizovať manuálne lakovníkom.

V budúcnosti by som si chcel vyskúšať programovanie lakovacieho zariadenia, kde sa na proces striekania používajú lakovacie roboty. Tie sa hlavne využívajú v automobilovom priemysle, prípadne na lakovanie zložitých tvarov výrobkov. Cena takéhoto riešenia s použitím lakovacích robotov je však vysoká.

Zariadenie lakovacej linky ktorého riešenie predkladám v tejto diplomovej práci bolo v skúšobnej prevádzke od začiatku roku 2009 a teraz je už plne funkčné. Prispieva k zefektívneniu a optimalizácii procesu nanášania farby na vyrábané kontajnery. Nezanedbateľným prínosom novej lakovacej linky okrem automatického procesu lakovania sú aj optimálne podmienky, v ktorých sa vykonáva proces lakovania.

Použitá literatura

- [1] KOZIOREK, Jiří – CHROMČÁK, Libor. Logické systémy řízení. Učební text, příklady pro cvičení. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1490-2.
- [2] POLKA, D. Motors & Drives. ISA 2003, USA, ISBN 1-55617-800-X.
- [3] CP1L CPU Unit Operation manual. Japan: Omron Corporation, 2009. 809 s.
- [4] CP1H/CP1L CPU Unit Programming manual. Japan: Omron Corporation, 2007. 1176 s.
- [5] CP1H CPU Unit Operation manual. Japan: Omron Corporation, 2009. 787 s.
- [6] VS mini J7 USER'S Manual. The Netherlands: Omron Yaskawa Motion Control B.V., 2006. 177 s.
- [7] Kompaktní PLC automat CP1L úvodní manuál. The Netherlands: Omron Corporation, 2007. 165 s.
- [8] Programovatelné terminály řada NS Příručka pro rychlé zahájení. The Netherlands: Omron Corporation, 2006. 40 s.
- [10] KNIEWALD, D. et al. Optimalizácia procesu tryskania a odpadov náterových hmôt. In: 5. čiastková správa ZOD 67/95. Košice 1996
- [11] SIGMUND, J. Určení spotřeby náterových hmot. In: Ocelové konstrukce 5/2000
- [12] <http://industrial.omron.cz>
- [13] <http://www.ia.omron.com/>
- [14] <http://www.itsbrno.cz/>
- [15] <http://www.sick.com>
- [16] <http://www.lenze.com>
- [17] <http://sk.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>
- [18] <http://www.graco.com>

Zoznam príloh

Príloha č. 1:

DVD, jeho štruktúra obsah:

- Manuály Omron,
- Foto: Fotografie z Kovo Sipox, technologia, rozvádzače s RS,
- Video: Video z Kovo Sipox,
- Projekt riadiacej aplikácie manipulátora,
- Projekt vizualizačnej aplikácie manipulátora,
- Projekt riadiacej aplikácie ventilácie,
- Projekt vizualizačnej aplikácie ventilácie.